

Treball de Fi de Grau
Grau en Enginyeria Química

**Estudi de les dispersions cromàtiques
superficials en el formigó**

MEMORIA

Autor: Ferran Arumí Iglesias
Director/s: Ignasi Casas Pons
Convocatòria: Juny de 2015



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



Resum

El projecte presentat a continuació té com a objectiu principal intentar explicar mitjançant una metodologia concreta quins són els factors que accentuen la problemàtica detectada en les obres de formigó. Aquesta problemàtica consisteix en una fina capa superficial de color fosc que es diposita en la part inferior del motllo i, consegüentment, a la cara vista de la peça provocant que aquesta no quedi estètica.

És veritat que mitjançant alguns tractaments superficials, com poden ser el sorrejat o bé simplement l'utilització de vapor a alta pressió com a element de neteja, es pot acabar amb aquest problema. Ara bé la finalitat d'aquest projecte va més enllà. Entenent que ens trobem en un moment en que el formigó ha agafat un caire més sofisticat i personalitzat, al mateix temps que la sofisticació del client ha anat en augment, hom es veu amb la necessitat d'intentar donar resposta a les inquietuds d'aquests clients.

Es va pensar que la millor manera per tal de poder posar fi a aquesta problemàtica era determinant des d'un primer moment una metodologia experimental clara i directe. Tal com es podrà veure en el projecte s'han realitzat tot un seguit d'assajos, on en cada un d'ells, s'ha modificat només una única variable. Es va observar que eren dues les variables claus a estudiar. La primera i molt important, era la quantitat de desencofrant que es tirava en el motllo abans de formigonar. La segona era la temperatura. Es va intentar fer un seguiment i sotmetre el procés de formigonar a un ventall de temperatures ampli per tal de poder veure quin efecte tenia aquesta sobre el procés.

Pel que fa a resultats i conclusions que es podran veure detallats i ampliats, sobretot en la part final del projecte, destaquen els següents:

Atenent a la primera variable es va poder observar amb una tendència força clara que hi havia un impacte visual, pel que fa a color, en el fet de posar-hi o no posar-hi desencofrant. En aquelles provetes on no s'hi posava desencofrant el seu color era relativament més fosc. Per contra a més presència de desencofrant el color de la peça era més clar, però no obstant això, presentava altres problemes. Per tant d'aquí va sorgir la primera conclusió: l'ús del desencofrant afectava a la peça en termes visuals.

Pel que fa la segona variable que era la temperatura, es va poder observar que sotmetent el desencofrant i el motllo a una determinada temperatura abans de formigonar, les diferències eren significatives. Si es garantia que tot el procés es realitzés a una temperatura superior a 4 graus les peces que s'obtenien eren certament més clares que no pas a temperatures inferiors a 4 graus. D'aquí en va sorgir, doncs, la segona conclusió, corroborant, a més a més, que la problemàtica s'accentuava més a l'hivern que a l'estiu.

Per tant, al final de tot s'ha pogut observar quines eren les variables que generaven aquesta capa fina superficial. A més a més, mitjançant instal·lacions elèctriques per escalfar, principalment, els motllos s'ha pogut començar a produir sense la problemàtica citada anteriorment.



Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. PREFACI	5
1.1. Motivació del treball.....	5
2. INTRODUCCIÓ	9
2.1. Objectius del projecte.....	9
2.2. Abast del projecte	9
3. L'HISTÒRIA DEL FORMIGÓ	10
3.1. Formigó de ciments naturals.....	10
3.2. El formigó del segle XIX: el ciment Portland i el formigó armat.....	11
3.3. El formigó del segle XX: el gran segle	12
3.4. El formigó del segle XXI: l'actualitat del formigó.....	14
4. LA QUÍMICA DEL FORMIGÓ	16
4.1. L'hidratació del ciment	16
4.1.1. Hidratació dels silicats de calci	17
4.1.2. Hidratació de l'aluminat tricàlcic.....	20
5. LA QUÍMICA DELS ADDITIUS DEL FORMIGÓ	24
5.1. Formigó autocompacte	24
5.2. Fluidificants	24
5.2.1. Superfluidificants	26
6. DESENCOFRANTS	29
6.1. Composició.....	29
6.2. Mecanisme de funcionament.....	29
6.2.1. Físic	29
6.2.2. Químic	30
6.3. Condicions del procés.....	30
6.4. Variables	30
7. PART EXPERIMENTAL DE TREBALL	31
7.1. Introducció i metodologia	31
7.1.1. Etapa 1: Recepció de matèries primeres i disposició d'aquestes en els elements d'emmagatzematge.	32

7.1.2.	Etapa 2: Procés de mescla i característiques del formigó obtingut	35
7.1.3.	Etapa 3: Transport del formigó en estat fresc fins als motllos.....	36
7.1.4.	Etapa 4: Disposició del desencofrant als motllos.....	37
7.1.5.	Etapa 5: Ompliment dels motllos amb el formigó.	38
7.1.6.	Etapa 6: temps de residència de les peces dins del motllo abans de ser extretes.....	39
7.1.7.	Etapa 7: Temperatura que s'han sotmès les mostres un cop extretes del motllo.	39
7.2.	Els motllos: especificacions tècniques	40
7.2.1.	Motllos genèrics.....	40
7.2.2.	Motllos específics.....	41
8.	ASSAJOS I RESULTATS	42
8.1.	Assajos amb motllos genèrics	42
8.1.1.	ASSAIG G1	43
8.1.2.	ASSAIG G2	45
8.1.3.	ASSAIG G3	47
8.1.4.	ASSAIG G4	50
8.2.	Assajos amb motllos específics.....	53
8.2.1.	ASSAIG E1	53
8.2.2.	ASSAIG E2.....	55
9.	IMPLEMENTACIÓ DE LA METODOLOGIA A SEGUIR A FÀBRICA _	57
9.1.	Consideracions prèvies a l'abocament del formigó al motllo.	57
9.2.	Consideracions durant l' abocament del formigó al motllo i posteriors.....	59
10.	CONCLUSIONS	60
11.	IMPACTE MEDIAMBIENTAL	69
11.1.	Impacte mediambiental general del formigó	69
11.2.	Impacte mediambiental del projecte.....	70
12.	COSTOS DEL PROJECTE.....	72
13.	AGRAÏMENTS	73
14.	BIBLIOGRAFIA.....	74
	Referències bibliogràfiques.....	74



1. Prefaci

1.1. Motivació del treball

La principal motivació d'aquest treball neix fruit d'una problemàtica observada en el procés de fabricació de peces de formigó. Bàsicament aquesta consisteix en una petita capa superficial de color irregular (fosc) en la cara vista de la peça fabricada. Tal com es pot veure en les imatges que segueixen, quan aquestes peces són posades a l'obra provoquen un impacte visual important.

En un primer moment es va pensar que el problema no fos únicament de l'empresa estudiada, però després de visitar diferents obres arreu de l'estat, es va poder observar que realment la problemàtica era de caire generalitzat. A les Figures 1 i 2 es poden veure algunes imatges amb el fenomen citat.



Figura 1. En aquesta imatge es pot veure clarament com les tres peces del panell de l'esquerra són d'un color més fosc que les demés. Són diferents, malgrat les condicions d'operació del procés de fabricació del formigó utilitzat són exactament les mateixes per a totes.



Figura 2. Façana d'un edifici on es veu clarament la problemàtica en diferents tonalitats de fosc. En algun cas també es pot veure com es projecten de color més fosc les peces de porexpan del seu interior.

A més a més, aquesta problemàtica es veu accentuada quan es posen peces de porexpan en l'interior de la peça. Aquest material es posa en el seu interior per tal de poder fer-la més lleugera i facilitar-ne el seu transport a l'obra. Tal com es pot veure a les Figures 3 i 4, aquesta capa superficial de color fosc projecte la forma del porexpan interior.



Figures 3 i 4. A dalt es pot veure com les dues peces situades a l'esquerra de l'imatge presenten el problema citat anteriorment. De la mateixa manera passa amb l'imatge de l'esquerra. En totes dues es pot veure com el contorn de la peça de porexpan queda marcat en la cara vista i d'un color més fosc. En l'annex I es poden veure més exemples.

La veritat és que aquesta problemàtica sempre ha estat present en el món del formigó. Ara bé, ha estat en els darrers anys quan realment s'ha començat a tractar la vessant més estètica del formigó.

Antigament el formigó havia estat un material molt utilitzat en tot tipus de construccions degut, bàsicament, al factor econòmic que aquest presenta: és molt econòmic. La perspectiva que es tenia de construcció fins als darrers anys estava centrada únicament en les propietats mecàniques, és a dir, s'estudiava el formigó des d'un punt de vista mecànic per tal d'obtenir formigons amb unes resistències i docilitats molt bones. Ara bé, tal com s'ha dit anteriorment, ha estat en els darrers anys quan s'ha començat a concebre el formigó com a un producte final i més tecnificat.

Actualment, les propietats mecàniques del formigó ja no es posen en dubte, ans al contrari, es desenvolupen formigons amb unes resistències i docilitats per sobre del que marquen les normatives. No obstant això, degut a la tecnificació del formigó com a producte estètic i final, la sofisticació del client ha anat en augment. En aquests moments el client vol obtenir un producte acabat des del moment en que surt de fàbrica sense la necessitat de cap tractament superficial posterior.

Cal matissar que la problemàtica descrita abans, aquesta capa superficial, és cert que amb un tractament superficial s'aconsegueix una peça perfecte però no és el que vol el nostre client. Per aquest motiu amb aquest projecte s'intentarà donar resposta de què és el que realment succeeix i s'intentarà proposar alguna solució per tal de poder-ho evitar.

2. Introducció

2.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal del projecte és buscar la manera de produir peces de formigó que no presentin cap alteració estètica. Es vol evitar el color fosc en l'acabat de la peça per oferir un producte final que respongui a les necessitats dels clients.

A més a més, es pretén que després de l'aplicació dels coneixements i l'estudi de les variables causants de la problemàtica es sigui capaç de reproduir una metodologia de treball concreta en qualsevol fàbrica vinculada en el sector.

2.2. Abast del projecte

L'horitzó que es tenia a l'hora de plantejar el projecte era un tan difús ja que se'n desconeixia fins a quin punt s'hauria d'arribar per poder posar solució al problema. És per aquest motiu que el primer que es va fer va ser acotar-lo a l'extensió requerida pel projecte.

Així doncs, l'abast d'aquest projecte serà fins al punt on hom sigui capaç de poder donar tot un seguit de consells i advertències a l'hora de produir, i que aquestes ofereixin la possibilitat que qualsevol empresa vinculada en el món del formigó sigui capaç de produir sense denotar aquesta problemàtica.

Es descarta aprofundir en trobar o investigar que és el que genera el color fosc o causa aquesta incrustació a nivell de composició degut a la complexitat que això representa i degut a la gran quantitat de temps i recursos necessaris per tal de poder determinar-ho. També es descarta aprofundir en el tema del porexpan que es posa a l'interior de la peça i que també accentua la problemàtica. Ara bé si que en aquest cas, en l'annex III es pot veure una petita explicació del perquè es creu que passa això.

3. L'història del formigó

El formigó ha estat un element determinant en l' història de la construcció. De fet el motiu pel qual ha estat un material que s'ha utilitzat ja des de l'antiga Grècia és degut a que els materials que utilitza com a matèries primeres són presents, pràcticament, a tot arreu: guix i àrids.

La principal problemàtica que presentaven és que patien un fort deteriorament amb el pas del temps. D'aquesta manera va ser com els grecs van seguir indagant en el tema fins a desenvolupar el que serien els formigons de ciments naturals: molt més resistents.

3.1. Formigó de ciments naturals

Els formigons de ciments naturals són la primera forma, impulsada pels grecs, en la que es va concebre el formigó. S'aconseguia per mitjà de mesclar roca calcària calcinada amb aigua i sorra i després addicionar-li pedres triturades. Els antics romans, a diferència dels grecs, utilitzaven cendres volcàniques que contenien una mescla de sílice i alumínia.

A més a més, ja van observar que es tractava d'una mescla molt densa i per això van afegir a aquesta materials de baixa densitat (ceràmics) per tal d'obtenir un formigó lleuger.

Les aplicacions que es varen poder obtenir amb aquest tipus de formigó varen ser moltes i de molt variades: des de canonades fins a instal·lacions portuàries. Alguns exemples de construccions de l'època es poden veure en les Figures 5 i 6.



Figura 5 i 6. A l'esquerra arcs del coliseu romà fets amb formigons de ciments naturals mitjançant l'addició de materials ceràmics per fer-los més lleugers. Encara avui perduren. A la



drete, les voltes de les termes de Caracall (Itàlia).

Val a dir que després de la caiguda de l'imperi romà l'utilització del formigó per a fer construccions d'envergadura va ser molt reduïda. Aquesta reducció va ser deguda bàsicament a la falta de mitjans tècnics i humans, a més a més, de la mala cocció de la cal i la manca de roques volcàniques properes. De fet, no serà fins al segle XIII quan es torna a reactivar l'utilització del formigó com a element constructiu. Destaquen obres com la Catedral de Salisbury o bé el Machu Pichu dels Maies.



Figures 7 i 8. A l'esquerra la catedral de Salisbury (Regne Unit) i a la dreta el famós Machu Pichu (Perú).

Posteriorment, John Smeaton, recupera la passió per estudiar de nou el formigó i donar-li unes propietats diferents i millors. Una de les obres principals que se li atribueixen és la construcció d'un far al penya-segat d'Edystone a partir de pedres unides amb un morter de cal calcinada que permetia suportar l'acció constant de les onades i dels vents humits característics de la zona.

3.2. El formigó del segle XIX: el ciment Portland i el formigó armat

És en aquest segle on neix, a càrrec de Joseph Aspdin i James Parker, una nova concepció del formigó a nivell de propietats. Aquest s'obté a partir de roca calcària argilosa i carbó calcinats a alta temperatura. És el que es coneix avui dia com el ciment Portland, i és el més utilitzat amb diferència.

A nivell de propietats es pot dir que es tracta d'un formigó que suporta molt bé els esforços de compressió, que es sota les condicions que acostuma a treballar el formigó. Ara bé, si li apliquem qualsevol altre tipus d'esforç (tracció, flexió) aquest es fissa amb certa facilitat. És en aquest moment, per tal d'obtenir el formigó com a un material certament competitiu, quan neix l'idea del formigó armat. Aquest concepte consisteix en introduir en l'interior del

formigó tot un seguit de barres metàl·liques que eviten els esforços anteriors que provocaven fissuracions. A les Figures 9 i 10 es poden veure algunes imatges del formigó armat i del ciment.



Figures 9 i 10. A l'esquerra es pot veure com els pilars disposen d'unes barres metàl·liques en el seu interior per tal d'evitar qualsevol esforç de flexió que puguin patir. A la dreta, són exemplars característics del ciment Portland tal i com avui dia es comercialitza.

3.3. El formigó del segle XX: el gran segle

És en aquest segle quan realment es produeix un gran creixement de l'indústria del ciment. Els motius són bàsicament la capacitat de produir una gran quantitat de ciment Portland. Aquest creixement, evidentment, es veu incentivat per els experiments realitzats per persones de renom del moment com Le Chatelier, el qual va aconseguir produir un ciment de qualitat homogènia, la invenció d'un forn rotatori per a la calcinació i un molí tubular.

A més a més, gràcies als estudis de Juergen Hinrich Magens sobre el transport del formigó, es contribueix a una gran projecció d'aquest en la seva distribució. A les Figures 11 i 12 es poden veure algunes de les grans obres realitzades durant aquest segle.



Figura 11. Pont de Tavanasa a càrrec de Robert Maillart amb una llum de 51 metres sobre el riu Rin a Suïssa.





Figura 12. L'Òpera de Sydney (Austràlia) dissenyada per l'arquitecte Jorn Utzon i especial per la seva estructura i forma.

En la dècada dels seixanta apareix el formigó reforçat amb fibres, incorporades en el moment de l'amassat, donant al formigó isotropia i augmentant les seves qualitats davant de la flexió, tracció, impacte, fissuració, etc.

En els anys setanta, els additius permeten obtenir formigons d'alta resistència. A tall de curiositat, els edificis més alts que s'han fet han estat implementats amb estructures de formigó (vegeu Figures 13 i 14).



Figures 13 i 14. A l'esquerra es trobem les torres de Petronas construïdes l'any 1998 amb aproximadament 452 m a Kuala Lumpur. A la dreta l'edifici Taipei 101 construït l'any 2004 d'aproximadament 509 m a Taipei. Totes dues estructures representen la màxima expressió del formigó i la sofisticació que ha anat guanyant amb el pas del temps.



3.4. El formigó del segle XXI: l'actualitat del formigó

Tal com s'ha comentat en diverses ocasions s'ha anat abandonat l'idea de tractar el formigó com a element el qual se n'intenten garantir únicament les seves propietats mecàniques sinó que es comença a estudiar com a un producte final. D'aquí que durant aquests darrers anys agafi un paper molt important la química aplicada al formigó amb la qual s'intenti obtenir un formigó que doni molt més joc i s'intenti adequar al màxim a les sol·licitacions dels clients.

A la Figura 15 es poden veure algunes imatges de les construccions de la companyia Smart Living la qual intenta desenvolupar cases de disseny a partir de motllos rectangulars de formigó els quals s'encadenen entre si per tal de donar la forma de casa desitjada per al client. Smart Living és una de les moltes empreses que ha intentat agafar una altre filosofia aplicada al formigó en aquests darrers anys.



Figura 15. Imatges de construccions modernes amb formigó de la companyia Smart Living.

Després del breu repàs de com ha evolucionat el formigó i la sofisticació i tecnificació que aquest ha anat adquirint amb el temps, en el següent apartat es tractarà la importància de la química en el formigó, especialment en l'actualitat.

4. La química del formigó

El formigó és un material de construcció format, principalment, per els següents components: el ciment, els àrids i la grava, l'aigua, el filler i possibles additius. A continuació queden detallades diferents reaccions químiques que involucren aquests components.

4.1. L'hidratació del ciment

És una de les reaccions més importants i és dóna entre el ciment i l'aigua. En aquest cas, malgrat que la gamma de ciments existents sigui molt àmplia, en aquest apartat ens centrarem en el ciment Portland i les reaccions que aquest té, ja que és el ciment més utilitzat en l'actualitat.

Ara bé, abans de poder explicar com es dur a terme la reacció d'hidratació, cal conèixer quins són els components que formen el ciment Portland i el seu procés d'obtenció.

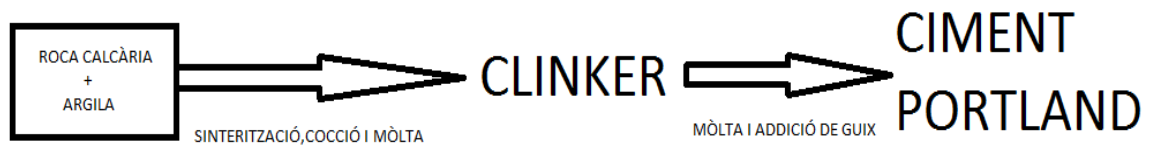
El ciment Portland està format, bàsicament, per la mòlta conjunta del producte resultant de la cocció, fins a la sinterització, d'una mescla de calcària i argila que rep el nom de 'clinker'.

Aquesta mescla està formada per quatre components majoritaris que són els que queden detallats a la taula següent:

<i>Nom</i>	<i>Composició</i>	<i>Pes molecular (g/mol)</i>	<i>Fórmula abreujada</i>	<i>Nom del material</i>
Silicat tricàlcic	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	228	C_3S	Alita
Silicat dicàlcic	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	172	C_2S	Belita
Aluminat tricàlcic	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	270	C_3A	
Aluminat tetracàlcic fèrric.	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	486	C_4AF	Celita

Taula 1. Components principals del ciment.

Quan aquesta mescla 'clinker' surt del forn després del procés de cocció i mòlta es torna a moldre juntament amb guix ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). És al final d'aquest procés quan s'obté el ciment Portland. Vegeu l'esquema següent.

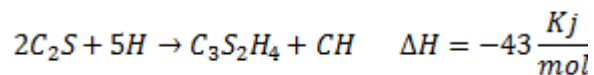
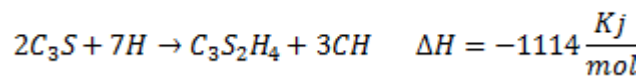


Esquema 1. Procés d'obtenció del ciment Portland

Per tal de poder estudiar quines són les reaccions específiques que es donen en l'hidratació del ciment es considerarà l'hidratació dels components principals del ciment per separat.

4.1.1. Hidratació dels silicats de calci

Tal com es pot observar en la Taula 1, els dos components principals amb presència de sílice en el ciment són el C_3S i el C_2S . Aquests representen entre un 75-80 % del pes del ciment. Ambdós tenen un procés d'hidròlisi molt semblant amb diferències tant en la calor d'hidratació alliberada com en la quantitat del producte $Ca(OH)_2$ format. En tots dos casos és superior en el C_3S .



S'entén com a símbol H l'aigua i CH l'hidròxid de calci. El producte C-S-H és el silicat de calci hidratat. Tant el C_2S com el C_3S són els components del ciment amb presència de sílice.

Per tal de poder entendre millor com funciona l'hidròlisi del ciment en els components amb sílice, a continuació, es detallen les diferents etapes en les que es basa en el cas de C_3S .

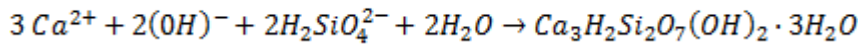
ETAPA 1: Preinducció

És l'etapa inicial del procés i en la que entren en contacte l'aigua amb el C_3S . Quan aquests dos contacten es produeix una reacció, en aquest cas exotèrmica, en la que s'allibera una determinada quantitat de calor (en funció de la forma de silicat que tinguem aquestes seran diferents).

Al mateix temps s'obtenen com a productes de la reacció ions calci (Ca^{2+}), ions hidròxid (OH^-) i es disposa una fina capa al voltant del C_3S en forma de ions silicat ($H_2Si_4^{2-}$). Aquests

darrers són el resultat de la dissolució del C_3S .

Al cap de pocs segons, la solució generada al voltant del C_3S , rica en silicats, comença a saturar respecte el silicat de calci hidratat, que comença a precipitar seguint la següent estequiometria de reacció:



Atenent a l'estequiometria de la reacció hi haurà un moment en que s'arribarà a unes concentracions crítiques d'aquests ions que provocaran que l'hidròxid de calci comenci a cristal·litzar donant lloc a la formació del silicat de calci hidratat al voltant del C_3S en forma de cristalls. No obstant això la reacció continua.

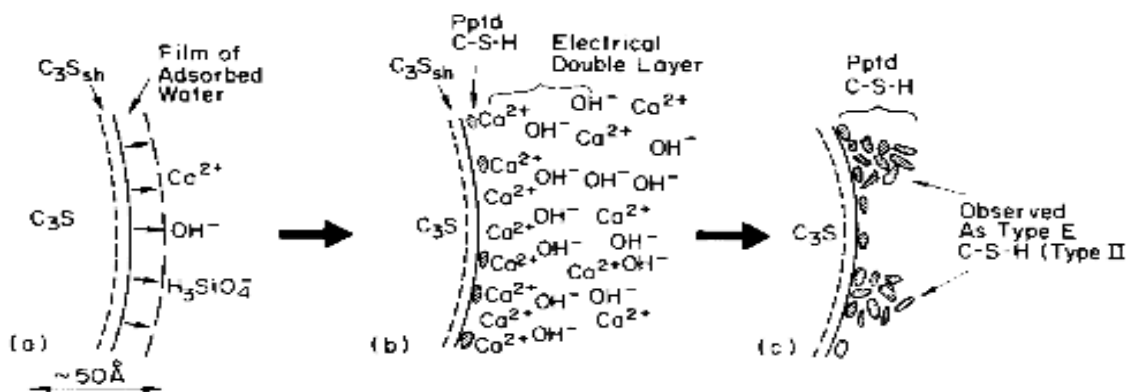


Figura 16. Esquema del comportament de les molècules en l'etapa de preinducció.

ETAPA 2: Període d'inducció

Després de l'etapa 1, segueix un període d'inactivitat relativa en el qual les quantitats consumides d'aigua juntament amb la quantitat d'hidrats de silici formats són molt petites. Es tracta d'un període en el qual, pel fet de no haver-hi gaire presència d'hidrats de silici en l'escorça del C_3S , l'estructura que es té no és suficientment rígida (cristal·lina). Això permet que el formigó, durant un període curt de temps, romangui en un estat plàstic que permet que sigui manejable amb certa facilitat.

Tal com s'ha dit anteriorment després de la primera etapa, la reacció d'hidròlisi segueix. La diferència és que en aquest moment el contacte que té l'aigua amb el C_3S es veu dificultat degut a la formació de la capa C-S-H. A més a més, degut a l'alliberació dels ions calci i hidròxids la dissolució que es té és molt alcalina (presència alta de $Ca(OH)_2$). En aquest cas el potencial químic va disminuint contínuament fins que aquesta dissolució queda sobresaturada respecte l'hidròxid de calci.

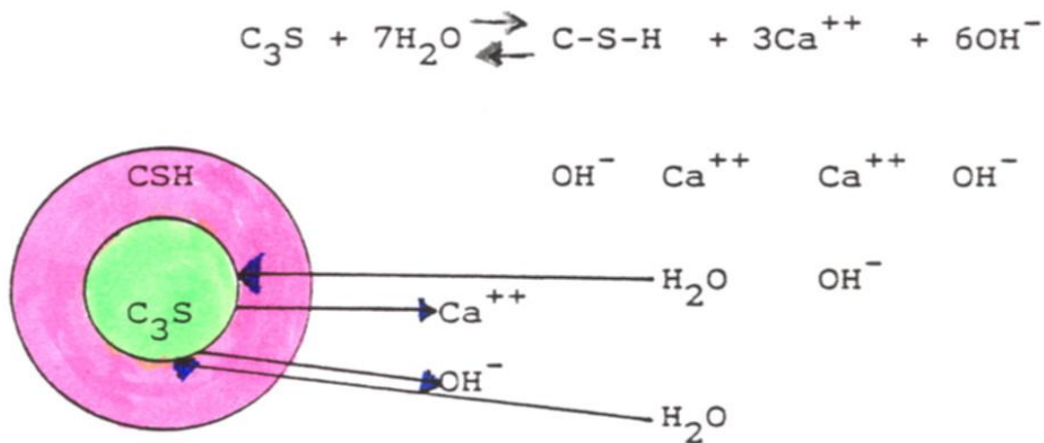


Figura 17. Esquema del comportament de les molècules en el període d'inducció.

La velocitat d'hidratació no podrà augmentar fins que aquesta concentració de $Ca(OH)_2$ disminueixi. Això succeirà en el moment en que comenci a cristal·litzar-se l'hidròxid de calci desplaçant-se l'equilibri cap a la dreta.

ETAPA 3: fraguat

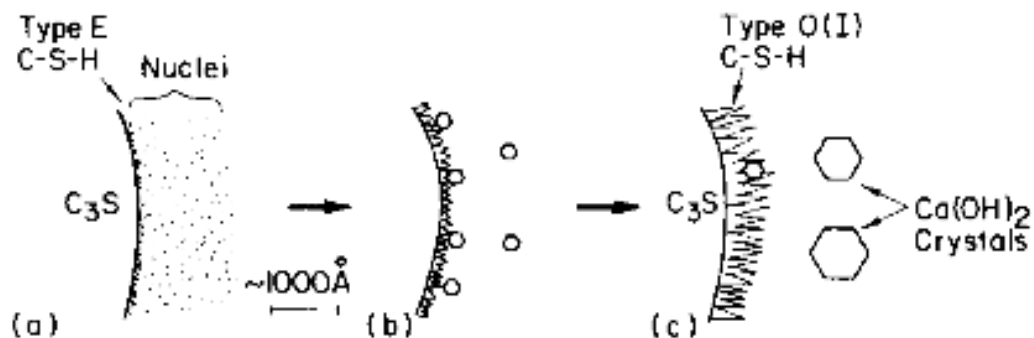


Figura 18. Esquema del comportament de les molècules en l'etapa del fraguat.

Al cap d'aproximadament 1-3 hores, és a dir, al final del període d'inducció, comença la solidificació o el fraguat inicial. En aquest moment el C_3S comença a hidratar-se ràpidament, ja que es produeix la cristal·lització del $Ca(OH)_2$ desplaçant-se l'equilibri cap a la dreta. Es pot dir que la velocitat d'hidratació assoleix un màxim que coincideix en el moment en que s'allibera més calor. En aquest temps, que acostuma ser d'entre 2-8 hores el fraguat final ha acabat i comença l'enduriment del formigó.

ETAPA 4: període de desacceleració

Tal com s'ha dit, gràcies a l'hidratació, el gruix de la capa de C-S-H creix cada vegada més. Tot això porta a un estat en el que la velocitat de reacció és la mateixa que la velocitat de

difusió.

Cal matissar, que malgrat la capa de C-S-H segueixi creixent degut a la reacció, el moviment que aquesta experimenta determina la velocitat de reacció mentre que l'hidratació queda determinada per la velocitat de difusió dins de la capa. La velocitat de reacció comença a disminuir fins que arriba a un estat estable (etapa 5) que acostuma ser al voltant de les 12-24 hores.

ETAPA 5: període de difusió estacionari

Durant aquesta etapa, la difusió és tan lenta que la velocitat d'hidratació està controlada únicament per la velocitat de difusió. Com que el gruix de la capa segueix creixent, la velocitat de difusió segueix disminuint fins que ja no es pot hidratar més el C_3S .

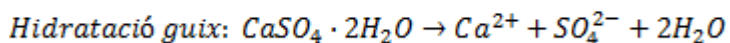
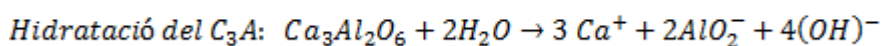
4.1.2. Hidratació de l'aluminat tricàlcic.

En aquest apartat s'explicarà l'hidratació de l'aluminat tricàlcic C_3A seguint la mateixa estructura que s'ha seguit per als silicats, a partir de les diferents etapes per les que passa. Cal matissar que, ja que en tot moment s'està tractant el ciment Portland, es considerarà l'hidratació en presència de guix que és tal com es desenvolupa a nivell industrial.

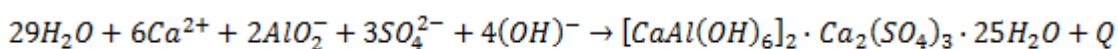
Així doncs es distingiran quatre etapes principals que queden detallades a continuació:

ETAPA 1: Període inicial

En aquest període, el C_3A i el guix es dissolen ràpidament juntament amb l'aigua seguint les reaccions següents:



Aquestes dues reaccions, de la mateixa manera que amb els silicats, venen acompanyades d'un gran desprendiment de calor. Són reaccions clarament exotèrmiques. A més a més, s'obté com a resultat una dissolució molt sobresaturada. Aquests ions que sobresaturen la solució, s'agrupen instantàniament per formar cristalls. La reacció que hi té lloc és la següent:



El compost cristal·lí que es forma es coneix amb el nom de etringita. En aquesta primera etapa, es forma una petita capa d'aquest element cristal·lí al voltant de la partícula de C_3A protegint-la i evitant que es produeixi una difusió dels ions sulfats (SO_4^{2-}), hidròxids (OH^-) i ions calci (Ca^{2+}).

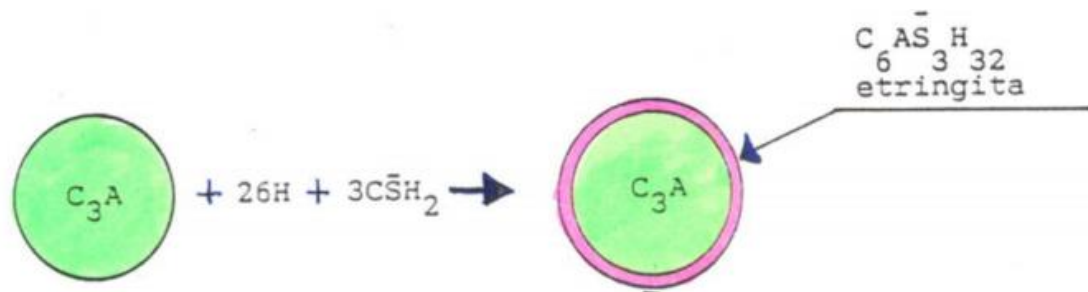


Figura 19. Esquema del comportament de les molècules en l'etapa del període inicial.

ETAPA 2: Període de retard

De la mateixa manera que passava amb els silicats, després d'aquest període es segueix formant l'etringita. Ara bé, degut a la formació d'aquesta capa al voltant de les partícules de C_3A , els ions sulfats i calci presents en la dissolució cada cop tenen més dificultats per entrar en contacte amb la partícula i seguir fent créixer la capa de etringita. De la mateixa manera que passava amb els silicats, això provoca un retard en la velocitat d'hidratació degut a la presència d'aquesta barrera de difusió que es crea.

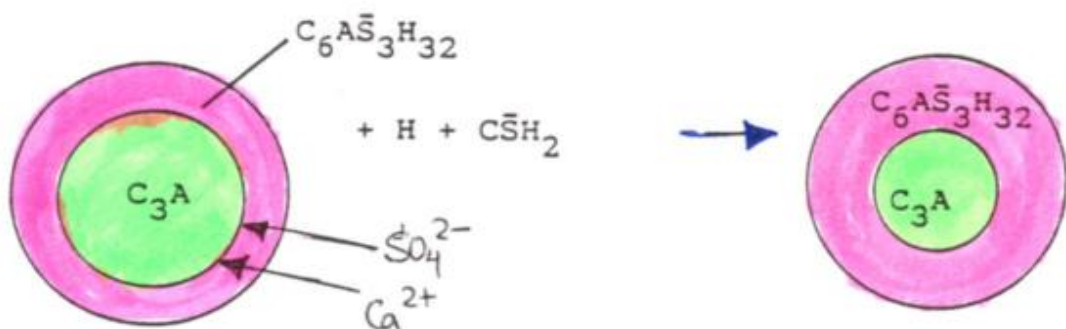


Figura 20. Esquema del comportament de les molècules en el període de retard. En la dissolució es pot veure clarament que els ions sulfats i calci, la barrera que han de superar, cada cop és més gran i en conseqüència es retarda l'hidratació.

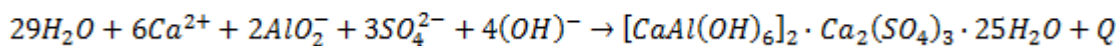
La durada d'aquesta etapa depèn estrictament de la quantitat de guix existent en la mescla, ja que l'etringita només és estable quan hi ha un excés de sulfats en la dissolució.

ETAPA 3: Espessiment del guix

Se sap que l'etringita és un producte de l'hidratació estable, però únicament quan la quantitat de sulfats és suficient, és a dir, quan aquesta es troba en excés. Quan la concentració d'aquests ions en la dissolució disminueix, l'etringita es torna inestable i es converteix en monosulfat.

Per altra banda la quantitat de guix que es pot utilitzar ve limitada per les normatives existents del formigó. Generalment la quantitat d'aquest és inferior a la de l'aluminat tricàlcic, d'aquí que es pugui afirmar que existeix un excés de aluminat tricàlcic respecte el guix.

Al cap de 10-24 hores, moment en el qual ja s'ha acabat el fraguat del formigó, el guix present s'haurà consumit en la seva totalitat. Això provocarà una disminució dels ions calci i sulfat, provocant que la dissolució saturi respecte l'etringita i aquest a es dissolgui segons la reacció:



Això permetrà que l'equilibri de la reacció es desplaci cap a l'esquerra, i de la mateixa manera que passava amb els silicats, els ions sulfats podran entrar de nou en contacte amb la partícula de C_3A , formant-se un nou compost: el monosulfoaluminat de calci hidratat (MSA).

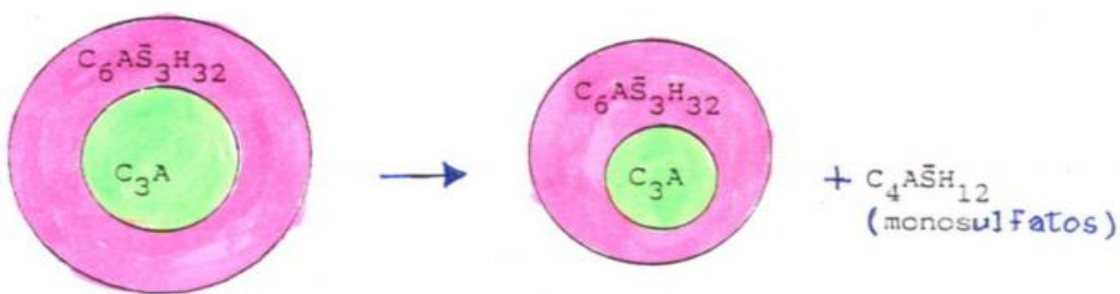
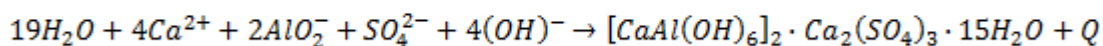
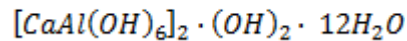


Figura 21. Esquema del comportament de les molècules en l'etapa d'espessiment del guix.

Aquest fet provoca que l'etringita reaccionï amb l'aluminat tricàlcic formant els monosulfats. Quan l'etringita es comença a convertir en monosulfats, la velocitat d'hidratació torna a créixer ràpidament degut a que el gruix d'aquesta barrera protectora durant la conversió de etringita a monosulfat, permeten que el C_3A torni a reaccionar.

ETAPA 4: Reaccions a llarg termini

Totes les reaccions que pateix l'aluminat venen marcades per la quantitat de guix i aluminat presents en un primer moment. Tal i com s'ha dit anteriorment, sempre considerant el ciment de tipus Portland, aquest conté una quantitat de guix d' aproximadament del 5% i entre un 8-12 % d'aluminat. La relació molar entre el guix i l'aluminat és de 0.8. Aquesta relació correspon a una mescla de monosulfats i aluminat tetracàlcic hidratat de fórmula:



En els formigons, l'etringita es transforma totalment en monosulfoaluminat al cap d'unes setmanes i aquest últim reacciona amb l'aluminat en excés per donar un producte hidratat molt complex. Aquest conté ions calci, sulfats, hidròxids, fèrrics, aluminats etc...

5. La química dels additius del formigó

En l'apartat anterior s'ha explicat una de les reaccions més importants del formigó: l'hidratació. Ara bé, s'ha de tenir present que en els darrers anys l'importància de la química sobre el formigó ha anat en augment, ja que per mitjà seu en forma d'additius, s'ha aconseguit una tecnificació i personalització del formigó com a producte final.

La normativa vigent del formigó, UNE206, cita la necessitat d'utilitzar els additius coneguts amb el nom de superfluidificants des d'un primer moment. S'entén aquest primer moment, com el procés en que es barregen els diferents components del formigó. De fet, la gran importància que dona la normativa vigent a l'utilització d'aquest additiu és degut a que gràcies a l'addició d'aquest additiu s'obté el que es coneix amb el nom de formigó autocompactable. Aquest formigó és el que denota unes propietats mecàniques millors al mateix temps que facilitat de treball.

ÀRIDS + GRAVA + CIMENT + AIGUA + SUPERFLUIDIFICANTS + FILLER
→ FORMIGÓ AUTOCOMPACTE

Esquema 2. Components del formigó autocompacte

5.1. Formigó autocompacte

Es tracta d'un formigó capaç de fluir a l'interior de l'encofrat o motllo, omplint-se de forma natural passant a través de les barres interiors de l'armadura i consolidant-se únicament sota l'acció del seu pes, és a dir, sense mitjans de compactació i sense que es produeixi s'agregació entre els components. Tal com s'ha dit anteriorment aquesta propietat de fluir per acció del seu pes s'aconsegueix gràcies a l'addició dels fluïdificants.



Figura 22. Formigó autocompacte

5.2. Fluïdificants

També coneguts com a reductors d'aigua són productes químics de naturalesa orgànica formats per macromolècules tensioactives capaces de neutralitzar les càrregues elèctriques del ciment, y conseqüentment, la seva capacitat de floculació.

Aquestes macromolècules tenen un extrem de la seva cadena hidròfil, és a dir, amb afinitat per l'aigua i l'altre extrem de la cadena hidròfob, per tant, repulsor de l'aigua. D'aquesta manera aquestes macromolècules queden absorbides i orientades en la superfície dels grans de ciment.

A més a més, fruit de la capa de dipols d'aigua fixada s'impedeix l'agrupació o coalescència dels grans de ciment actuant, en aquest cas, com un lubricant i obtenint-se un sistema ben dispers. També s'aconsegueix que es produeixi un alliberament de l'aigua atrapada entre els floculs de ciment que queda disponible per augmentar la seva fluïdesa. A continuació es pot veure de forma il·lustrativa que és el que succeeix.

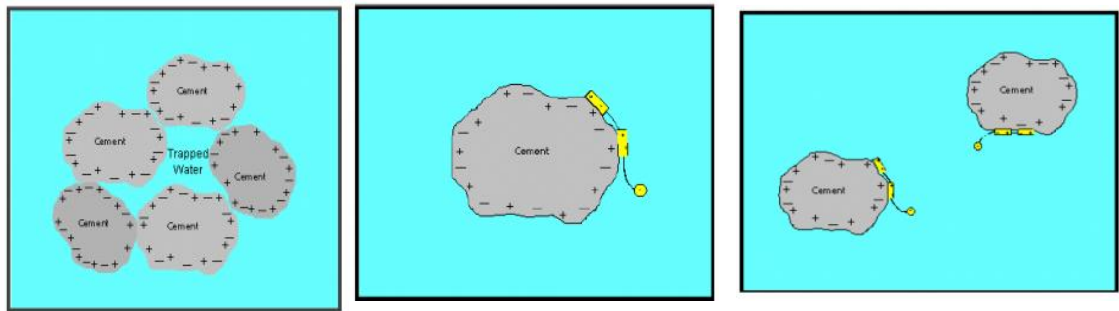


Figura 23. Esquema del funcionament d'un fluidificant.

Els principals fluidificants que existeixen en general són:

- Lignosulfonats: pròpiament extrets de les restes de la pasta de paper

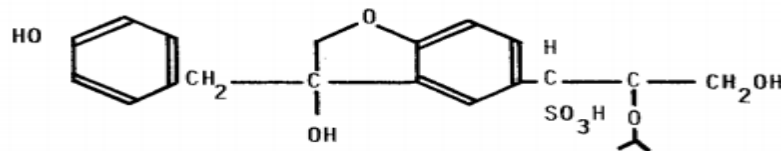


Figura 24. Estructura característica dels lignosulfonats.

- Àcids hidroxicarboxílics i sals. Hidrats de carboni: polisacàrids i sucres.



Figura 25. Estructura característica dels hidroxicarboxílics (esquerra) i hidrats de carboni (dreta).

Aquests compostos tenen un alt caràcter dispersant, això permet obtenir unes mescles amb menys viscositat que si s'utilitza la mateixa quantitat d'aigua, o bé mescles en les que es pot reduir la quantitat d'aigua a la mateixa viscositat. Cal matissar que la màxima capacitat de reductor d'aigua és d' aproximadament un 15%.

A més a més, aquestes molècules són absorbides amb major intensitat per el C_3A i C_4AF del ciment Portland. Això el que genera és una disminució de la velocitat d'hidratació del ciment provocat un cert retard en el fraguat del formigó. Les principals funcions que aporten al formigó aquest additius són:

- Augmentar la docilitat sense augmentar la quantitat d'aigua de procés.
- Reduir la relació aigua/ciment per a una mateixa docilitat.

5.2.1. Superfluïdificants

Tal com indica el seu nom aquests presenten unes propietats més accentuades que els anteriors, ja que aquests permeten obtenir reduccions de la quantitat d'aigua superiors al 30% sense presentar problemàtiques. Aquest també reben el nom de superplastificants o bé reductors d'aigua d'alta activitat.

Si que és veritat que es podrien obtenir aquestes reduccions d'aigua amb els fluïdificants anteriorment citats mitjançant l'addició de grans quantitats d'aquets. La problemàtica principal és que l'excés d'aquests acostuma a generar uns efectes secundaris no desitjats.

La seva funció és modificar la reologia del formigó, és a dir, la deformació i el flux de matèria que pugui tenir. Això permet aconseguir mescles molt dòcils i molt fàcils de posar en obra, sense reduir, les seves propietats mecàniques com ara les seves resistències. Se sap que per a poder augmentar la treballabilitat d'un formigó es pot aconseguir mitjançant l'addició d'aigua, però aquest sistema, malgrat sigui més econòmic, repercuteix desfavorablement en les seves resistències mecàniques, durabilitat, permeabilitat. És per això, que per tal d'evitar aquestes repercussions el que es fa és amb la mateixa quantitat d'aigua se li addiciona un superfluïdificant i les seves propietats mecàniques queden intactes.

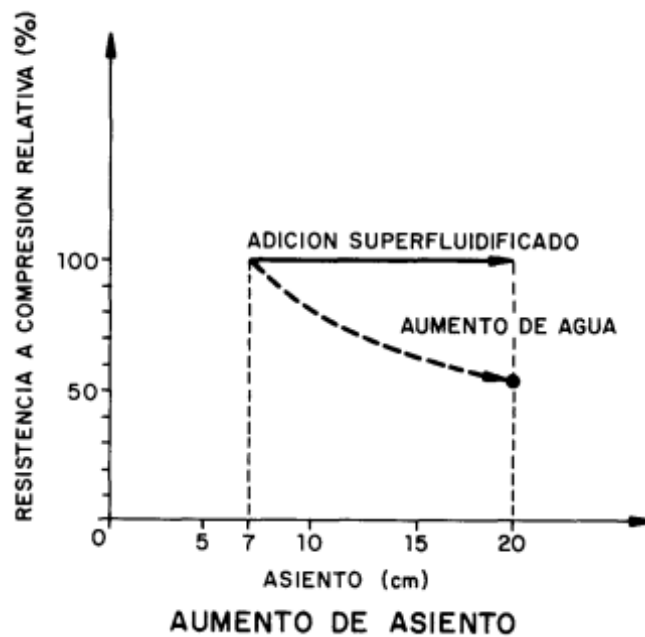


Figura 26. Relació entre la resistència a compressió del formigó i l'augment del seient.

Un altre possibilitat d'utilització d'aquest additiu és per a una mateixa treballabilitat aconseguir una reducció d'aigua i d'aquesta manera aconseguir unes altres resistències mecàniques. Matissar que aquest darrer ús no és el principal ja que el formigó fa molts anys que s'estudia i realment les resistències que s'han aconseguit a dia d'avui són immillorables.

Actualment es poden classificar els superfluidificants en tres grups principals que queden descrits a continuació:

- Condensats de formaldehid i melamina sulfonats (SMF)

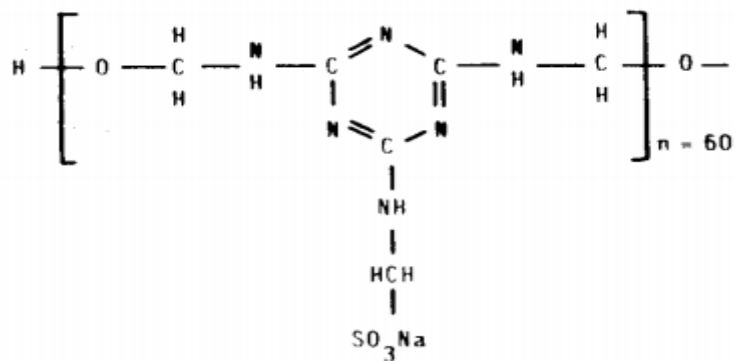


Figura 27. Estructura característica dels Condensats de formaldehid i melamina sulfonats (SMF).

- Condensats de formaldehid i naftalè sulfonats (SNF)

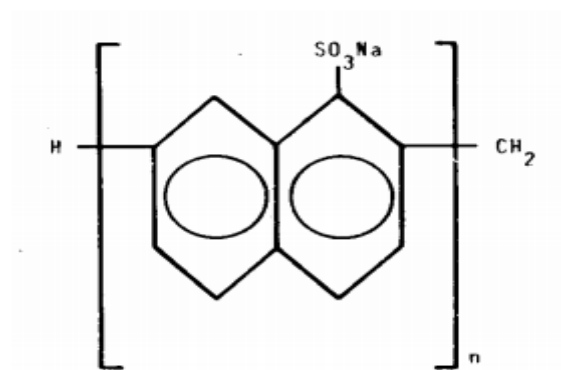


Figura 28. Estructura característica dels Condensats de formaldehid i naftalè sulfonats (SNF).

- Lignosulfonats modificats (MSL)

Es podria dir que aquests són la base d'on parteixen tots els superfluidificants perquè a partir d'aquests es poden generar tot el mercat de superfluidificants que existeixen avui en dia.

Quan són absorbits sobre la partícula de ciment, aquests, els cedeixen una càrrega negativa provocant una disminució significativa de la tensió superficial de l'aigua que els envolta. A més a més, provoquen una repulsió entre elles evitant la seva floculació millorant d'aquesta manera la seva fluidesa.

A més a més de l'excel·lent dispersió que genera entre les diferents partícules de ciment, es produeix una alta velocitat d'hidratació del ciment degut al major contacte entre les seves partícules i l'aigua.

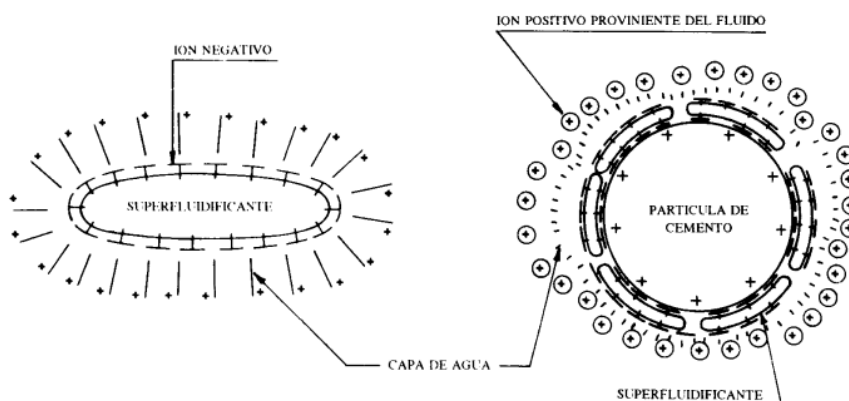


Figura 29. Esquema de funcionament dels superfluidificants

6. Desencofrants

Per evitar que el formigó s'adhereixi al motllo sobre el qual es diposita i que li donarà la forma un cop endurit, s'utilitzen els desencofrants (desmoldejants).

Aquestes productes que exerceixen d'element separador entre el motllo i el formigó fresc i que faciliten la seva separació una vegada el formigó ha endurit, tenen una composició que facilita aquest procés tant física, com químicament.

6.1. Composició

Els desencofrants són bàsicament olis (minerals, vegetals o sintètics) additivats amb diferents productes segons el tipus de motllo, formigó i procés en el qual hagin de ser utilitzats.

Aquests additius que acompanyen els olis en la seva formulació poden ser:

Dissolvents derivats del petroli: utilitzats per baixar la seva viscositat, facilitar la seva aplicació per polvorització i evitar un excés de capa d'oli, que sempre és perjudicial per a la qualitat del formigó; o aigua en el cas de desencofrants en emulsió (ídem funció).

Àcids grassos: faciliten l'adherència del desencofrant al motllo i la separació del formigó.

Anticorrosius: per protegir els motllos de problemes d'oxidació.

Altres: Emulgents (en el cas de desencofrants emulsionables o en emulsió); additius antioxidants d'èsters (per evitar l'enfosquiment dels olis vegetals en processos de curat en calent), additius d'extrema pressió (per millorar l'adherència al motlle en processos molt agressius), additius anti-porus (humectants)

6.2. Mecanisme de funcionament

6.2.1. Físic

El sol fet de posar una pel·lícula de desencofrant entre el motllo i el formigó ja constitueix de per si una barrera física de separació que es veu reforçada per la no miscibilitat de l'oli del desencofrant i l'aigua del formigó (aigua i oli no es barregen) . La seva funció és també mantenir els motlles nets per a les següents aplicacions.

6.2.2. Químic

La principal acció l'exerceixen els àcids grassos que reaccionen amb el ciment del formigó facilitant la seva separació. Un excés d'aquests productes ja sigui en la formulació o per un excés de capa, provoquen superfícies del formigó pulverulentes per l'efecte retardant que comporten.

Els altres components que acompanyen a la formulació dels desencofrants, també per defecte, i per excés, poden influir en l'acabat final del formigó. (taques de diferent tonalitat segons l'origen, porus, superfície amb pols...)

6.3. Condicions del procés

El mecanisme de funcionament del desencofrant, està molt mediatitzat per les condicions del procés del formigó que anem a realitzar i només els assajos previs ens diran si el desencofrant escollit és l'adequat per aconseguir els efectes que desitgem.

6.4. Variables

Naturalesa del motllo: acer, fusta, goma, fenòlics, formigó...

Formigó: tipus de consistència, de ciments, àrids, additius, armadura

Temperatura ambient i humitat relativa: influeixen en la viscositat del desencofrant, fins a la velocitat de curat del formigó.

Treballar a l'aire lliure o en una nau industrial.

Sistema de vibració: vibradors d'agulla, de taula, vibrocompactadores, sense vibració (formigó autocompactant).

Sistema de curat del formigó: amb o sense temperatura, vapor...

Sistema d'aplicació del desencofrant: generalment s'aconsella evitar excessos i aplicar capes fines.

Temps d'espera entre l'aplicació del desencofrant i l'abocament del formigó: segons sigui un desencofrant immediat, o diferit (cal esperar un temps a que s'evapori el dissolvent o l'aigua abans d'abocar el formigó).

7. Part experimental de treball

7.1. Introducció i metodologia

Abans de particularitzar els diferents assajos realitzats amb les seves corresponents característiques pròpies, s'explicarà quin ha estat el procediment que s'ha seguit a l'hora d'obtenir el formigó, la seva disposició en el motllo i el seu posterior tractament. Recordar que en tot moment s'ha treballat i s'ha estudiat només amb motllos metàl·lics i que el tipus de formigó ha estat el mateix per a tota la metodologia (assajos). En l'annex II es poden veure les especificacions de les matèries primes del tipus de formigó utilitzat.

Per tal de poder explicar el procés productiu es separarà la seva explicació en set etapes clarament diferenciades. Cinc etapes que faran referència als procediments previs a l'abocament del formigó al motllo i dues etapes referents al tractament de les mostres i a les condicions a les quals s'han sotmès posteriorment.

Les cinc etapes anteriors a l'abocament al motllo són:

1. Recepció de matèries primeres i disposició d'aquestes en els elements d'emmagatzematge.
2. Procés de mescla i característiques del formigó obtingut.
3. Transport del formigó en estat fresc fins als motllos.
4. Disposició del desencofrant als motllos.
5. Ompliment dels motllos amb el formigó.

De les cinc etapes anteriorment citades tant la primera, la tercera com la darrera són comuns a qualsevol tipus d'assaig. Les dues restants variaran sobretot en les característiques particulars de cada formigó i en la quantitat de desencofrat dipositat als motllos.

Les dues etapes posteriors a l'abocament al motllo són:

6. Temps de residència de les peces dins del motllo abans de ser extretes.
7. Temperatura que s'han sotmès les mostres un cop extretes del motllo.

7.1.1. Etapa 1: Recepció de matèries primeres i disposició d'aquestes en els elements d'emmagatzematge.

És la primera etapa de tot el procés productiu i on se centra l'essència del formigó que s'obtindrà, especialment, en termes de propietats. En aquesta etapa es tracta d'escollir quin tipus d'àrid, grava, ciment... s'utilitzarà en el procés.

Cal matissar que degut a la gran complexitat que representa estudiar tots i cadascun dels formigons existents s'ha optat, principalment, per l'estudi d'aquell formigó que ha originat la problemàtica estudiada de forma més accentuada.

Així doncs, a continuació en la Figura 30 es pot veure quins han estat els components utilitzats per a la producció del formigó. En l'annex II del treball hi ha ubicades les fitxes tècniques de tots ells. Les proporcions que s'han utilitzat quedaran descrites en la segona etapa del procés.



Figura 30. En la part superior d'esquerra a dreta: el ciment Portland, el filler i els àrids. En la part inferior d'esquerra a dreta: la grava, l'aigua d'amassat i els additius.

Els diferents elements que intervenen en el procés d'obtenció del formigó no poden ser tractats de la mateixa manera degut a les característiques pròpies de cadascun d'ells i la seva importància dins del procés. És per això que, per tal d'explicar-ho més clarament, es consideraran tres grups:

1. Elements fins: ciments i filler
2. Àrids i graves
3. Aigua i additius

El primer grup, que són els elements fins, cal tractar-los d'una manera més acurada que els demés. El motiu és degut al seu caràcter higroscòpic, ja que són capaços d'absorbir aigua, en forma d'humitat, amb molta facilitat. Evidentment, aquesta absorció d'aigua permetria que comences l'hidratació prematura del ciment, cosa que no interessa, ja que les seves propietats es podrien veure modificades durant tot el procés productiu del formigó.

És per aquest motiu, per tal d'evitar aquesta prematura hidratació del ciment, que aquest és transportat amb camions cuba. Aquests camions són perfectament hermètics, de tal manera, que eviten qualsevol contacte amb l'exterior. Un cop arribats a la fàbrica interessa que el contacte que tinguin amb l'exterior segueixi essent el mínim possible. És per això que tan el filler com el ciment són guardats en els anomenats silos. Es tracten de dipòsits totalment estancs en els que, en la seva part inferior tenen una comporta que permet abocar el ciment i el filler quan es vulgui.



Figures 31 i 32. A l'esquerra és la imatge d'un tràiler de transports de ciment. A la dreta l'imatge dels silos.

Un altre aspecte que s'ha de tenir en compte en el tractament d'aquests components és la precisió de pesada que necessiten. Al tractar-se d'elements de gran importància dins del procés de barreja cal que les seves quantitats estiguin dins els intervals de tolerància correctes.

S'acostumen a utilitzar unes tolves petites que calculen les quantitats necessàries tant de ciment com de filler. A més a més, aquestes disposen d'unes cel·les de càrrega que permeten calcular amb precisió la quantitat i abocar-la dins la formigonera.

El segon grup correspon als àrids i a la grava. Es pot dir que és un grup menys delicat a l'hora del seu emmagatzematge ja que, bàsicament, es tracta d'elements inerts. A diferència dels anteriors aquests arriben a la fàbrica en camions tràilers. Més enllà que aquests vehicles de transport siguin tancats, no garanteixen ni eviten el contacte amb l'exterior. Pel que fa als elements on s'emmagatzemen a la fàbrica, bàsicament, s'utilitzen tolves. Són elements que tenen la seva part superior descoberta a diferència dels silos.



Figures 33 i 34. A l'esquerra és la imatge d'un camió típic de transports de àrids i grava. A la dreta l'imatge de una tolva.

I pel que fa a la manera com aquests són transportats a la formigonera és mitjançant cintes transportadores. Aquestes cintes disposen d'elements de pesada que en permeten determinar la quantitat que se'n necessita. Evidentment aquests elements són menys precisos que els anteriors, degut a que no es necessita tanta precisió. De totes maneres dir que garanteixen toleràncies inferiors a un 2 %.

El grup que resta doncs és el format per l'aigua i els additius. També són elements molt importants, ja que si recordem com era d'important la relació aigua/ciment en el procés d'hidratació, fa que haguem de garantir les quantitats d'aquests elements amb gran exactitud.

La manera com aquests elements arriben a la fàbrica és mitjançant camions cisterna. La particularitat que té el camió cisterna és que en el seu interior està dotat d'uns diafragmes que impedeixen que el líquid es vagi agitant i desplaçant lliurement per l'interior de la cisterna. Pel que fa l'estanquitat és total. Un cop a fàbrica es guarden en dipòsits estancs.

A més a més aquests dipòsits tenen uns elements que permeten regular el pes dels líquids amb certa precisió. A partir d'aquí mitjançant canonades són introduïts en la formigonera.



Figures 35 i 36. A l'esquerra és la imatge d'un camió típic de transports de líquids i aditius. A la dreta l'imatge de dipòsits convencionals per a l'emmagatzematge de líquids.

7.1.2. Etapa 2: Procés de mescla i característiques del formigó obtingut

Etapa que comença en el moment en que tenim tots els elements necessaris per a la producció del formigó preparats per ser addicionats a la formigonera. El funcionament d'una formigonera és tan simple com el d'un agitador convencional. Mitjançant unes paletes va removent tot el material present dins la formigonera. El procés total dura aproximadament uns 4-5 minuts. L'ordre que se segueix a l'hora d'abocar els diferents elements dins la formigonera és el descrit a continuació:

Àrids i grava: agitació constant durant aproximadament 1 minut. Es garanteix que hi hagi una barreja entre els àrids i la grava sobretot pel que fa a tamany.

Ciment i filler: són abocats al cap d'un minut de l'inici del procés. Aquesta barreja del ciment i filler amb àrids i grava dura aproximadament 1 minut.

Aigua i additius: són addicionats un cop transcorreguts dos minuts de l'inici. Amb l'addició d'aquest es comença a obtenir una pasta semi líquida. Cal matissar que la manera com s'aboquen aquests components és de forma progressiva. A més a més, s'aboquen conjuntament els additius i l'aigua en un mateix tub per tal de facilitar la circulació, ja que les quantitats són molt diferents.



Figura 37. Fotografia de la formigonera de l'empresa Julian Arumí S.L.

Un cop passat aquest temps, per acció automàtica s'obre una comporta situada en la part inferior de la formigonera que permet que el formigó caigui damunt d'una nova tolva que permetrà amb l'ajuda d'un toro transportar-la al lloc on es formigonarà.

Degut a la presència de l'automatització present en gairebé totes les indústries, en el cas de l'indústria de la construcció, es disposa de panells indicatius automàtics que regulen la quantitat necessària dels diferents elements introduïts a la formigonera.



Figura 38. Fotografia del control automàtic utilitzat en l'empresa Julian Arumí S.L per a regular tot el procés.

Tal com s'ha comentat anteriorment, aquesta etapa variarà en funció de l'assaig que es vulgui fer ja que per exemple les relacions de ciment respecte el filler o aigua seran diferents, o simplement la presència o no d'additius. En les diferents particularitzacions dels assajos s'explicarà quina és la diferència que aquests presenten respecte els demés i una taula amb totes les quantitats.

7.1.3. Etapa 3: Transport del formigó en estat fresc fins als motllos.

La manera com es transporta el formigó des de la formigonera fins al punt on es formigonarà és mitjançant un tolva de recepció que és transportada amb un toro.



Figura 39. Fotografia de la tolva de recepció de l'empresa Julian Arumí S.L.

En aquest punt s'ha de tenir present una consideració del formigó i evitar que passi el següent.

El formigó al tractar-se d'un element molt porós en etapes prèvies al fraguat fa que s'hagi de garantir que la distància des d'on s'aboca el formigó de la formigonera sigui la mínima possible o la menys accentuada possible. Si no es garanteix això, pot provocar que la porositat d'aquest augmenti i generi cavitats a l'hora de formigonar i pèrdues de resistència.



Figura 40. En l'imatge es pot veure com en el moment d'abocar el formigó s'utilitza una certa pendent, per tal d'evitar alteracions d'aquest. El mateix es garanteix a fàbrica mitjançant elements metàl·lics que en donen la forma.

7.1.4. Etapa 4: Disposició del desencofrant als motllos.

Aquesta etapa es podria dir que funciona per separat respecte les demás. És el moment en que s'introdueix el desencofrant al motllo. La metodologia que es fa servir sempre és exactament la mateixa. Degut a que el desencofrant es troba en estat líquid s'utilitza un utensili que permet abocar-lo de forma polvoritzada.



Figura 41. Imatge del polvoritzador emprat per dipositar el desencofrant al motllo.

Un tema important i que es podrà veure més endavant amb els assajos i que accentua la problemàtica estudiada és la quantitat que s'aboca d'aquest. Generalment la quantitat que s'aboca d'aquest és de forma qualitativa i subjectiva per part de l'operari. En vistes de que la problemàtica que es tenia venia provocada en certa mesura per la quantitat de desencofrant utilitzat s'ha quantificat quan se'n tirava exactament. La manera com s'ha pogut quantificar ha estat mitjançant pots de plàstic adequadament calibrats a 2 ml representant poca quantitat i 10 ml representant molta quantitat. .

7.1.5. Etapa 5: Ompliment dels motllos amb el formigó.

Podríem dir que es tracta de la darrera etapa abans que comenci el procés de fraguat del formigó. Aquesta etapa consisteix en abocar el formigó a l'interior del motllo. Aparentment no requereix de cap condició a tenir en compte que pugi afectar a les propietats tant visuals com mecàniques. Ara bé, de la mateixa manera que s'ha garantit a l'hora d'abocar el formigó des de la formigonera a la tolva de transports, en aquest moment s'ha de garantir que la distància d'abocament entre la tolva de transport i el motllo sigui la mínima possible.



Figura 42. Imatge on es pot veure que l'operari intenta garantir una distància mínima entre tolva de recepció i el motllo.

De fet és en aquest moment quan es pot veure l'important propietat d'autocompactibilitat del formigó gràcies a l'addició del filler. Es pot veure com el formigó flueix a través de tota la superfície del motllo.

Aquestes cinc etapes, tal com s'ha dit anteriorment, fan referència al procés que segueix al formigó des d'un primer moment (quan arriba a la fàbrica en forma de matèries primes) fins

a la seva ubicació a l'interior del motllo. A partir d'aquest moment, és a dir, amb el formigó dintre del motllo resten dues etapes que estan relacionades amb les condicions que sotmetem aquest formigó.

Cal matissar que aquestes dues etapes que precedeixen no són utilitzades durant el procés de producció normal de peces fetes amb formigó, però en aquest cas particular que s'està intentant trobar una correlació entre diferents paràmetres per solucionar la problemàtica estudiada, es segueixen bàsicament dues etapes.

7.1.6. Etapa 6: temps de residència de les peces dins del motllo abans de ser extretes

Aquesta etapa es basa simplement en deixar madurar les peces al motllo no només 24 hores, com es típic en la producció global de peces de formigó, sinó que variar aquest temps de residència fins a 48 o bé 72 hores fins i tot.

L'elecció d'aquesta prova no va ser a l'atzar sinó que té una justificació. El principal motiu era que ja feia temps que s'observava de forma qualitativa que si les peces maduraven més d'un dia dins del motllo presentaven la problemàtica de forma més accentuada. Per aquest motiu per mitjà de provetes i emprant diferents temps de residència es volia determinar si realment aquelles primeres hipòtesis eren verídiques.

7.1.7. Etapa 7: Temperatura que s'han sotmès les mostres un cop extretes del motllo.

De la mateixa manera que l'anterior, aquesta etapa s'ha considerat a partir d'unes determinades informacions obtingudes a partir de llibres etc.. Evidentment aquesta etapa en un procés normal de fabricació de peces de formigó no hi és considerada.

Després d'haver cercat en bibliografia sobre el procés del formigó es va trobar que realment a temperatures més baixes la problemàtica estudiada destacava més. És per aquest motiu que el tractament posterior que se'ls ha fet a les peces ha estat disposar-les en diferents espais amb temperatures diferents dins d'un rang (neveres, despatx, aire lliure).

7.2. Els motllos: especificacions tècniques

En aquest apartat es citaran les especificacions tècniques dels motllos degut a l'importància que aquests tenen durant el procés de formigonat. Tal com hom es pot imaginar els motllos són allò que especifica i determina la forma final que tindrà la peça. A més a més, la vida útil d'un motllo pot ser molt llarga degut a que la fornada de peces a fer sigui molt alta i durant molt de temps (infraestructures grans). D'aquí doncs que sigui important tractar-los amb cura i garantir que en tot moment tenen les condicions necessàries d'operació per tal d'evitar defectes secundaris en les peces.

Cal matissar abans de res que per dur a terme la part experimental del treball, s'ha treballat amb dos tipus de motllos diferents: els motllos genèrics i els específics.

7.2.1. Motllos genèrics

Varen ser els primers en ser utilitzats per començar entrar en contacte amb l'estudi de la problemàtica. Es tractava de motllos metàl·lics fets amb acer degut a les grans propietats a nivell de corrosió i resistència que aquests oferien. Les dimensions d'aquests varen ser de 120x120x10 cm i se'n van materialitzar dos. Posteriorment es van soldar uns separadors de tal manera que de cada motllo en sortien quatre provetes més petits.



Figura 43. Motllos genèrics utilitzats per a la preparació de provetes.

Els assajos que s'hi van realitzar varen ser tal com indica el seu nom de caire genèric. Es pretenia en fornades de vuit mostres i aplicant diferents condicions en elles veure si algun condicionant provocat expressament donava alguna idea d'alguna anomalia i si seguia alguna relació.

Varen ser molt útils ja que un cop es va veure què generava les anomalies (desencofrant i

temperatura) es va procedir a utilitzar els motllos específics de molt menys tamany, pes i de més fàcil operació, per obtenir resultats molt més detallats.

7.2.2. Motllos específics

Es va creure oportú utilitzar-los quan el nivell de detall a l'hora d'estudiar les provetes ja era més específic. Es tracten d'uns motlles igualment metàl·lics i d'acer però amb unes dimensions molt més reduïdes i en forma d'el·lipse. Aquest motllos permetien un millor acabat superficial i d'aquesta manera es podia observar amb més precisió els efectes que tenien a la superfície. Bàsicament en aquests motllos es van fer tots els assajos relatius a les modificacions de les temperatures, degut a que les seves dimensions permetien disposar-los en l'interior d'elements externs, com ara neveres o frigorífics.



Figura 44. Motllos específics utilitzats per a la preparació de provetes.

A continuació es detallaran els diferents assajos realitzats en el que seria la part dels assajos i resultats. Recordar doncs, que en aquesta part només s'han contemplat i utilitzat motllos metàl·lics perquè s'entén que són el que s'utilitzen a tot arreu en l'actualitat.

8. Assajos i resultats

8.1. Assajos amb motllos genèrics

Disposició de les peces al motllo

MOTLLO A

1	2
3	4

MOTLLO B

5	6
7	8

Abans de citar les condicions dels diferents assajos realitzats, dir que el procediment que s'ha seguit per a la seva realització en quant a temps de formigonat (fabricació de les peces) i temps de extreure les peces del motllo (desencofrat) ha estat el següent:

OPERACIÓ	TEMPS (Hores)
FORMIGONAT	16:00
DESENCOFRAT	10:00

Figura 45. Escala de grisos qualitat-quantitat



8.1.1. ASSAIG G1

Descripció de l'assaig: Es varen fer les sis peces que es detallaran a continuació amb la particularitat que en totes elles es va utilitzar diferents tipus de desencofrants. A cada tipus de desencofrant li corresponia dues peces, les quals tenien o bé molta o poca dosificació d'aquest. A més a més, es varen fer dues peces sense presència de desencofrant.

Període dins del motllo: Totes les peces es van fer d'una amassada i va ser el divendres 20/02/2015. Aquestes peces es varen treure del motllo el següent dilluns 23/02/2015. D'aquesta manera van estar aproximadament tres dies dins del motllo.

Descripció de les peces

Nº PEÇA	TIPUS MOTLLO	DIMENSIONS (cm)	DESENCOFRANT	QUANTITAT DESENCOFRANT
1	Metàl·lic	60 x60 x10	Parafínic	Poca (2ml)
2	Metàl·lic	60 x60 x10	Parafínic	Molta (10 ml)
3	Metàl·lic	60 x60 x10	Vegetal	Molta (10 ml)
4	Metàl·lic	60 x60 x10	Vegetal	Poca (2ml)
7	Metàl·lic	60 x60 x10	Sense	
8	PVC	60 x60 x10	Sense	

Taula 2. Especificacions de les peces realitzades en l'assaig G1.

*Altres particularitats de l'assaig: matissar que en la darrera peça es va utilitzar una lona de plàstic per tal de poder veure si la problemàtica observada en les peces podia ser provocada pel motllo metàl·lic. A més a més, tal com s'ha pogut veure les peces 5 i 6 no varen ser fetes degut a que no es disposava del tercer desencofrant que era el mineral.

A continuació es poden veure individualment les fotos de totes i cadascuna de les peces que es varen fabricar.

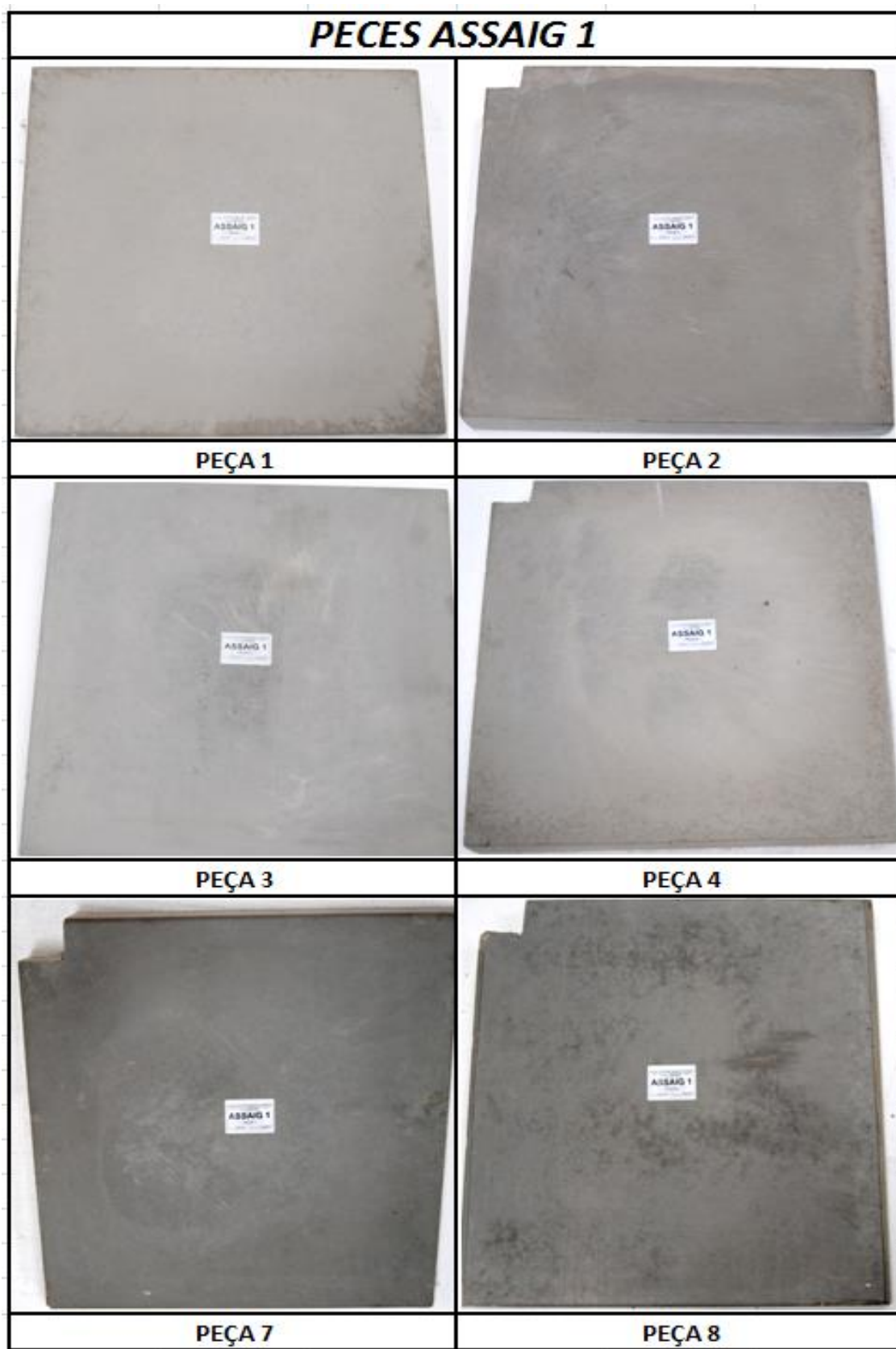


Figura 46. Imatges de les peces fabricades en l'assaig G1.

8.1.2. ASSAIG G2

Descripció de l'assaig: Es varen fer les sis peces que es detallaran a continuació amb la particularitat que en totes elles es va utilitzar diferents tipus de desencofrants. A cada tipus de desencofrant li corresponia dues peces, les quals tenien o bé molta o poca dosificació d'aquest. A més a més, es varen fer dues peces sense presència de desencofrant.

Període dins del motllo: Totes les peces es van fer d'una amassada i va ser el dimecres 25/02/2015. Aquestes peces es varen treure del motllo l'endemà 26/02/2015. D'aquesta manera van estar aproximadament a l'interior del motllo unes 18 hores.

Descripció de les peces

Nº PEÇA	TIPUS MOTLLO	DIMENSIONS (cm)	DESENCOFRANT	QUANTIAT DESENCOFRANT
1	Metàl·lic	60 x60 x10	Parafínic	Poca (2 ml)
2	Metàl·lic	60 x60 x10	Parafínic	Molta (10 ml)
3	Metàl·lic	60 x60 x10	Vegetal	Molta (10 ml)
4	Metàl·lic	60 x60 x10	Vegetal	Poca (2 ml)
7	Metàl·lic	60 x60 x10	Sense	
8	PVC	60 x60 x10	Sense	

Taula 3. Especificacions de les peces realitzades en l'assaig G2.

*Altres particularitats de l'assaig: exactament les mateixes que les citades en l'assaig anterior.

A continuació es poden veure individualment les fotos de totes i cadascuna de les peces que es varen fabricar.



Figura 47. Imatges de les peces fabricades en l'assaig G2

8.1.3. ASSAIG G3

Descripció de l'assaig: Es varen fer les sis peces que es detallaran a continuació amb la particularitat que en totes elles es va prescindir dels additius (superfluidificants) en el moment de fer la barreja i generar el formigó. A més a més, a diferència dels dos assajos anteriors, com que es disposava en aquest cas del desencofrant mineral es varen afegir dues peces (així quedaven els dos motllos complets) amb poca i molta quantitat d'aquest.

Període dins del motllo: Totes les peces es van fer d'una amassada i va ser el dijous 26/02/2015. Aquestes peces es varen treure del motllo l'endemà 27/02/2015. D'aquesta manera van estar aproximadament a l'interior del motllo unes 18 hores.

Descripció de les peces

Nº PEÇA	TIPUS MOTLLO	DIMENSIONS (cm)	DESENCOFRANT	QUANTITAT DESENCOFRANT
1	Metàl·lic	60 x60 x10	Parafínic	Poca (2 ml)
2	Metàl·lic	60 x60 x10	Parafínic	Molta (10 ml)
3	Metàl·lic	60 x60 x10	Vegetal	Molta (10 ml)
4	Metàl·lic	60 x60 x10	Vegetal	Poca (2 ml)
5	Metàl·lic	60 x60 x10	Mineral	Poca (2 ml)
6	Metàl·lic	60 x60 x10	Mineral	Molta (10 ml)
7	Metàl·lic	60 x60 x10	Sense	
8	PVC	60 x60 x10	Sense	

Taula 4. Especificacions de les peces realitzades en l'assaig G3.

*Altres particularitats de l'assaig: de la mateixa manera que en els assajos anteriors es va utilitzar en la darrera peça una lona de plàstic per del de poder veure si influenciava en el seu comportament.

A continuació es poden veure individualment les fotos de totes i cadascuna de les peces que es varen fabricar.







PECES ASSAIG 3	
	
PEÇA 1	PEÇA 2
	
PEÇA 3	PEÇA 4
	
PEÇA 5	PEÇA 6



Figura 48. Imatges de les peces fabricades en l'assaig G3.

8.1.4. ASSAIG G4

Descripció de l'assaig: En aquest cas es va decidir fixar el desencofrant, el vegetal, i variar d'una banda la quantitat que hi disposàvem d'aquest i de l'altre el temps que aquests estaven dins del motllo. En aquest cas s'han fet sis peces en que, en tres tongades de períodes dins del motllo (1,4,7 dies), s'ha variat la quantitat de desencofrant entre molt i poc. A més a més, per tal d'aprofitar la fabricació de peces les dues darreres peces que es podien fer es varen fer sense desencofrant i extretes al cap de set dies.

Període dins del motllo: el període de les peces en aquest cas va ser diferent per a cada parella d'elles. De totes maneres el moment d'amassada va ser comú a totes elles i va ser el dia divendres 06/03/2015. A continuació se'n detallen els períodes:

Peces 1 i 2: desencofrada el dia 07/03/2015. El període dins del motllo és va ser 1 dia.

Peces 3 i 4: desencofrada el dia 10/03/2015. El període dins del motllo és va ser 4 dia.

Peces 5 i 6: desencofrada el dia 03/03/2015. El període dins del motllo és va ser 7 dia.

Peces 7 i 8: desencofrada el dia 03/03/2015. El període dins del motllo és va ser 7 dia.

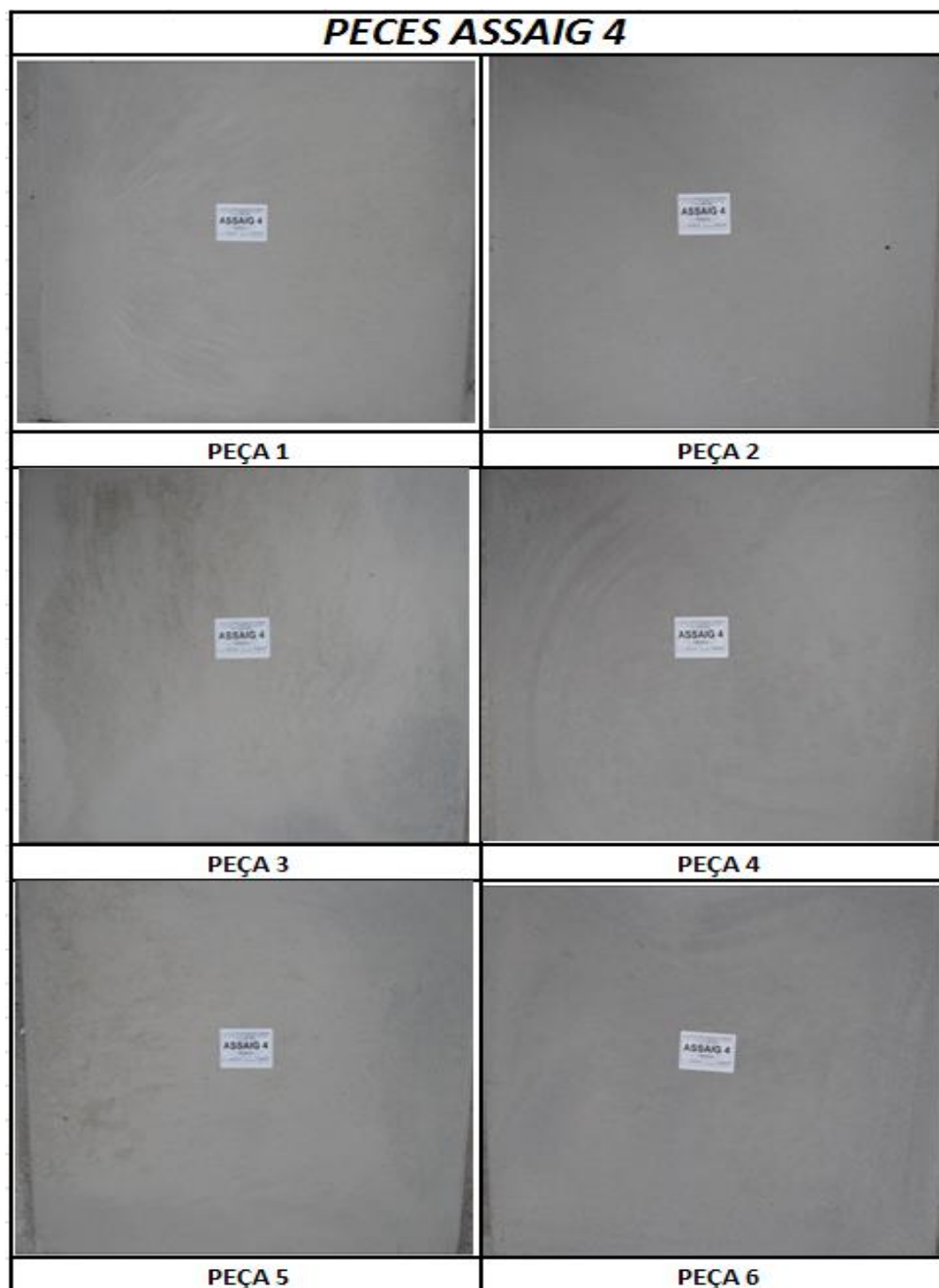
Nº PEÇA	TIPUS MOTLLO	DIMENSIONS (cm)	TIPUS DESENC.	QUANTITAT DESENCOFRANT	TEMPS MOTLLO (DIES)
1	Metà·lic	60 x60 x10	Vegetal	Poca (2 ml)	1
2	Metà·lic	60 x60 x10	Vegetal	Molta (10 ml)	1
3	Metà·lic	60 x60 x10	Vegetal	Poca (2 ml)	4
4	Metà·lic	60 x60 x10	Vegetal	Molta (10 ml)	4
5	Metà·lic	60 x60 x10	Vegetal	Poca (2 ml)	7
6	Metà·lic	60 x60 x10	Vegetal	Molta (10 ml)	7
7	Metà·lic	60 x60 x10	Sense		7
8	PVC	60 x60 x10	Sense		7

Taula 5. Especificacions de les peces realitzades en l'assaig G4.

Descripció de les peces

* Altres particularitats de l'assaig: de la mateixa manera que en els assajos anteriors es va utilitzar en la darrera peça una lona de plàstic per del de poder veure si influenciava en el seu comportament.

A continuació es poden veure individualment les fotos de totes i cadascuna de les peces que es varen fabricar.



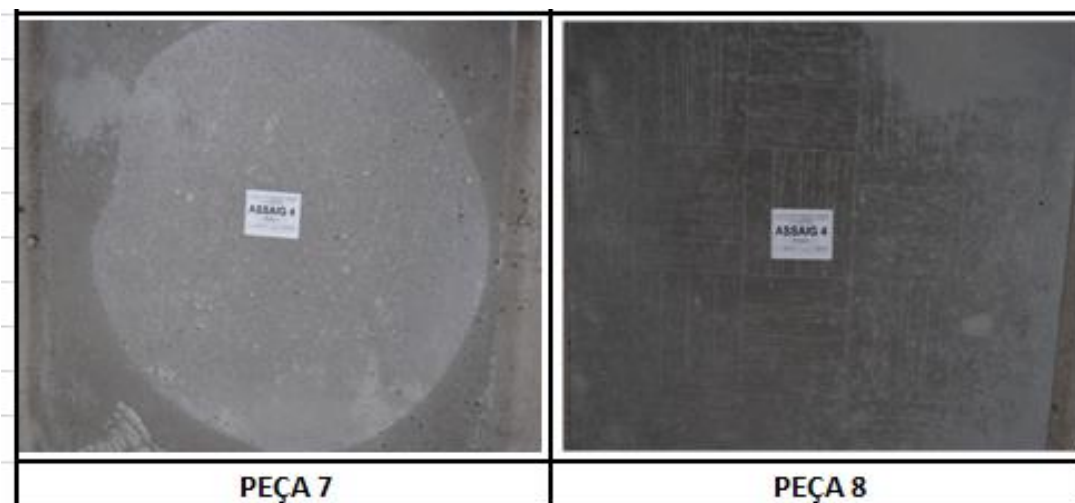


Figura 49. Imatges de les peces fabricades en l'assaig G4.

8.2. Assajos amb motllos específics

Recordar que tal com s'ha anat dient al llarg del treball les característiques dels motllos específics són diferents a les dels motllos genèrics, al mateix temps, que els objectius que aquests persegueixen. En aquests assajos les variables d'estudi importants seran la temperatura i la quantitat de desencofrant. A més a més matissar que el tipus de desencofrant utilitzat per aquest assajos és el vegetal. Es varen fer bàsicament dos assajos detallats a continuació:

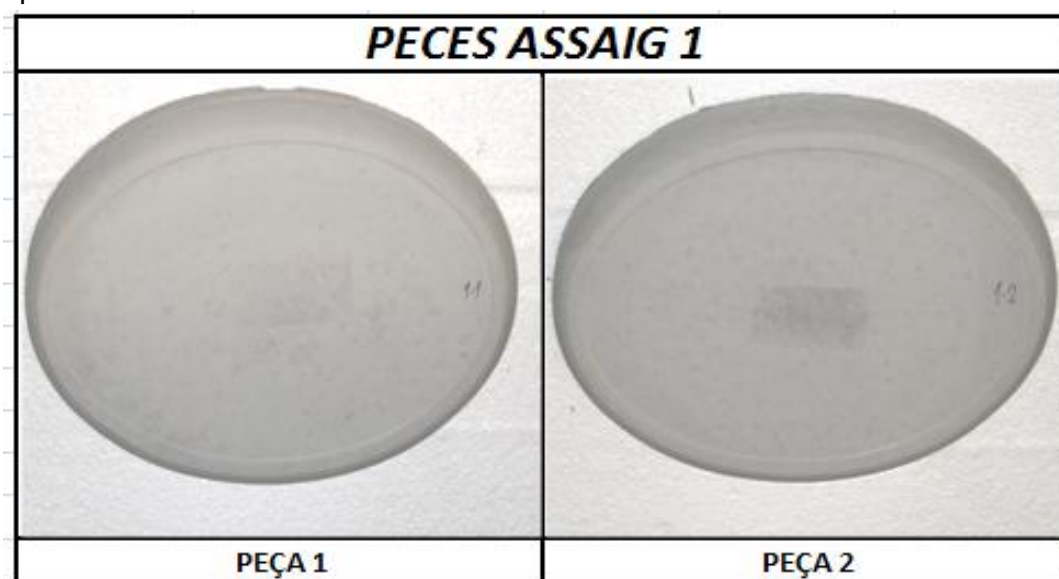
8.2.1. ASSAIG E1

Descripció de l'assaig: En aquest assaig es fixen dos temps de residència de 24 i 72 hores respectivament on se'ls aplica diferents condicions de temperatura. A més a més la quantitat de desencofrant aplicada en totes elles és de 10 ml aconseguint d'aquesta manera que aquesta afecti a totes per igual.

Nº peça	Temperatura	Tipus de motllo	Tipus desencofrant	Temps residència
1	15 ° C	Específic	Vegetal	24 hores
3	9 ° C	Específic	Vegetal	24 hores
5	4 ° C	Específic	Vegetal	24 hores
7	20 ° C	Específic	Vegetal	24 hores
2	15 ° C	Específic	Vegetal	72 hores
4	9 ° C	Específic	Vegetal	72 hores
6	4 ° C	Específic	Vegetal	72 hores

Taula 6. Especificacions de les peces realitzades en l'assaig E1.

A continuació es poden veure individualment les fotos de totes i cadascuna de les peces que es varen fabricar.



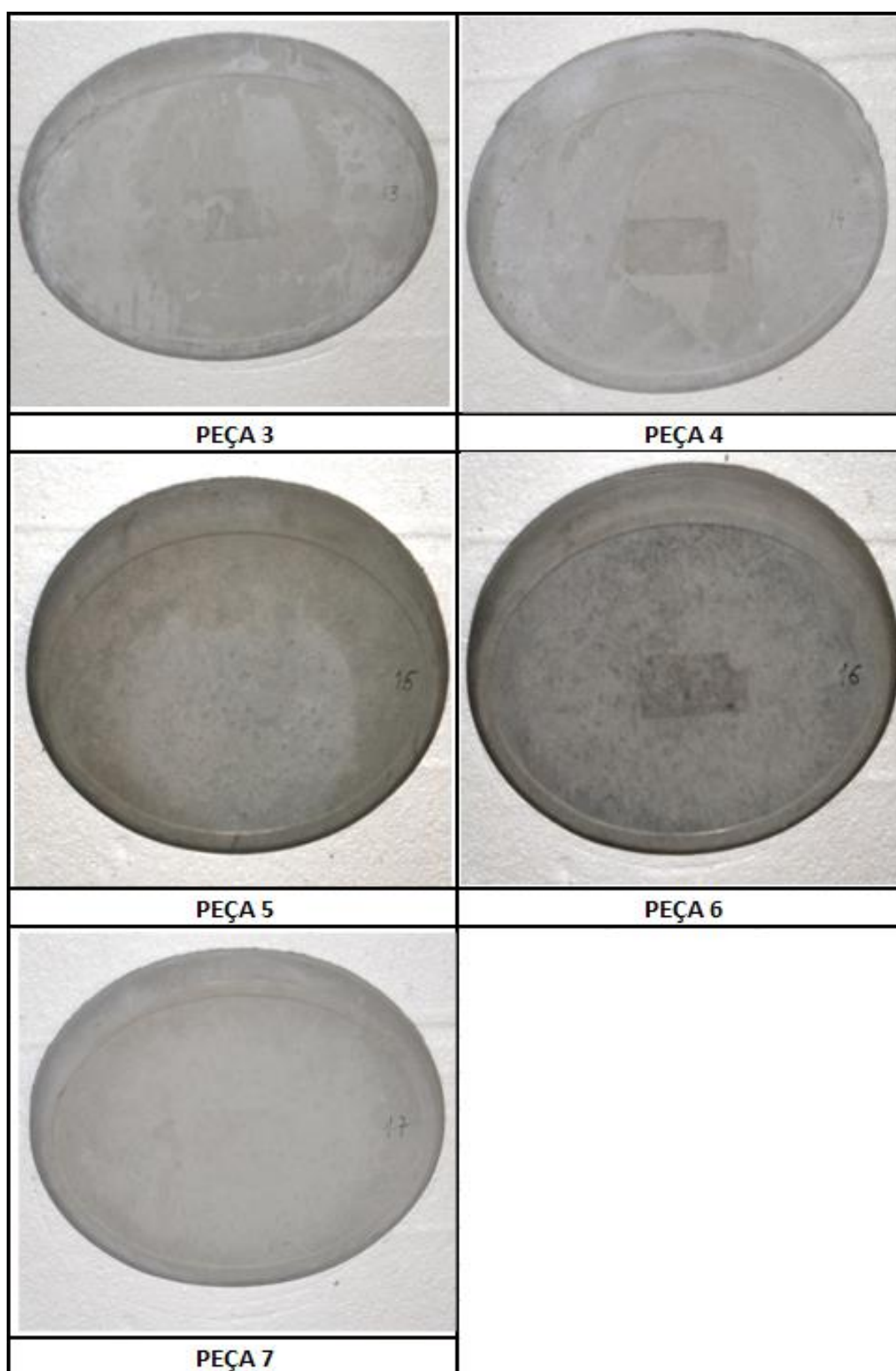


Figura 50. Imatges de les peces fabricades en l'assaig E1.

8.2.2. ASSAIG E2

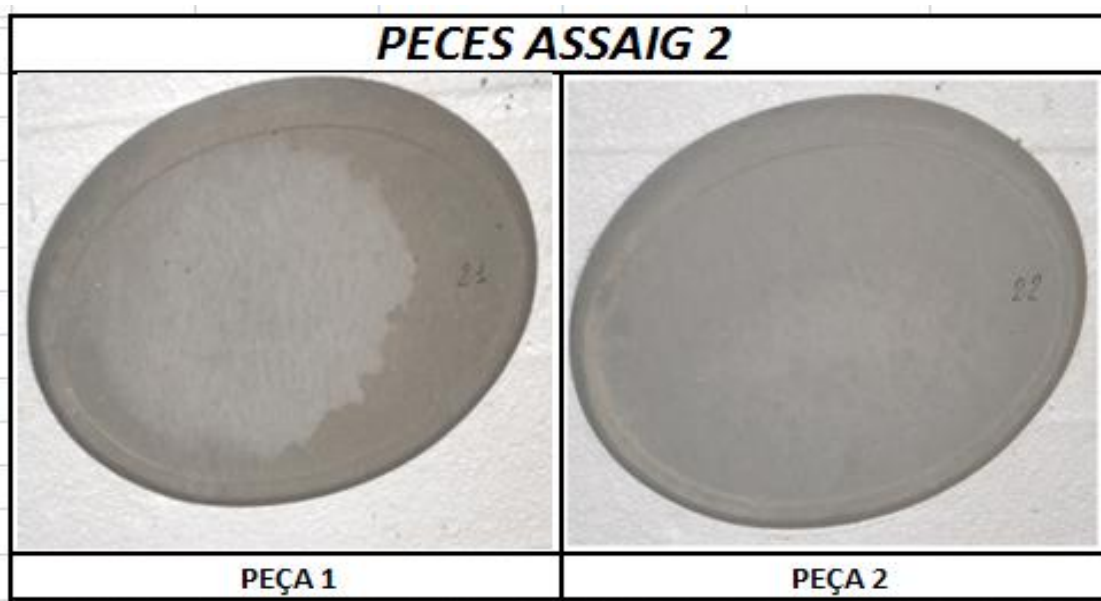
Descripció de l'assaig: En aquest es assaig pretén veure si el desencofrant se sotmet a diferents condicions prèviament al formigonat afecta en el procés. Per tant per a cada temperatura de procés de formigonat s'han fet tres mostres on: una d'elles el desencofrant es en el moment d'abocar-se al motllo tenia una temperatura de tres graus. L'altre el desencofrant en el moment d'abocar-se es trobava a temperatura ambient. I la darrera sense presència de desencofrant.

En aquest cas totes les peces han estat el mateix període dins del motllo (1 dia) i el tipus de desencofrant ha estat el mateix per a totes elles (vegetal).

Nº peça	Temperatura	Tipus de motllo	Tipus desencofrant	Temperatura desencofrant
1	3 °C	Específic	Vegetal	3 °C
2	3 °C	Específic	Vegetal	20 °C (temp ambient)
3	3 °C	Específic	Vegetal	Sense desencofrant
4	1 °C	Específic	Vegetal	3 °C
5	1 °C	Específic	Vegetal	20 °C (temp ambient)
6	1 °C	Específic	Vegetal	Sense desencofrant
7	20 °C	Específic	Vegetal	20 °C (temp ambient)

Taula 7. Especificacions de les peces realitzades en l'assaig E2.

A continuació es poden veure individualment les fotos de totes i cadascuna de les peces que es varen fabricar.



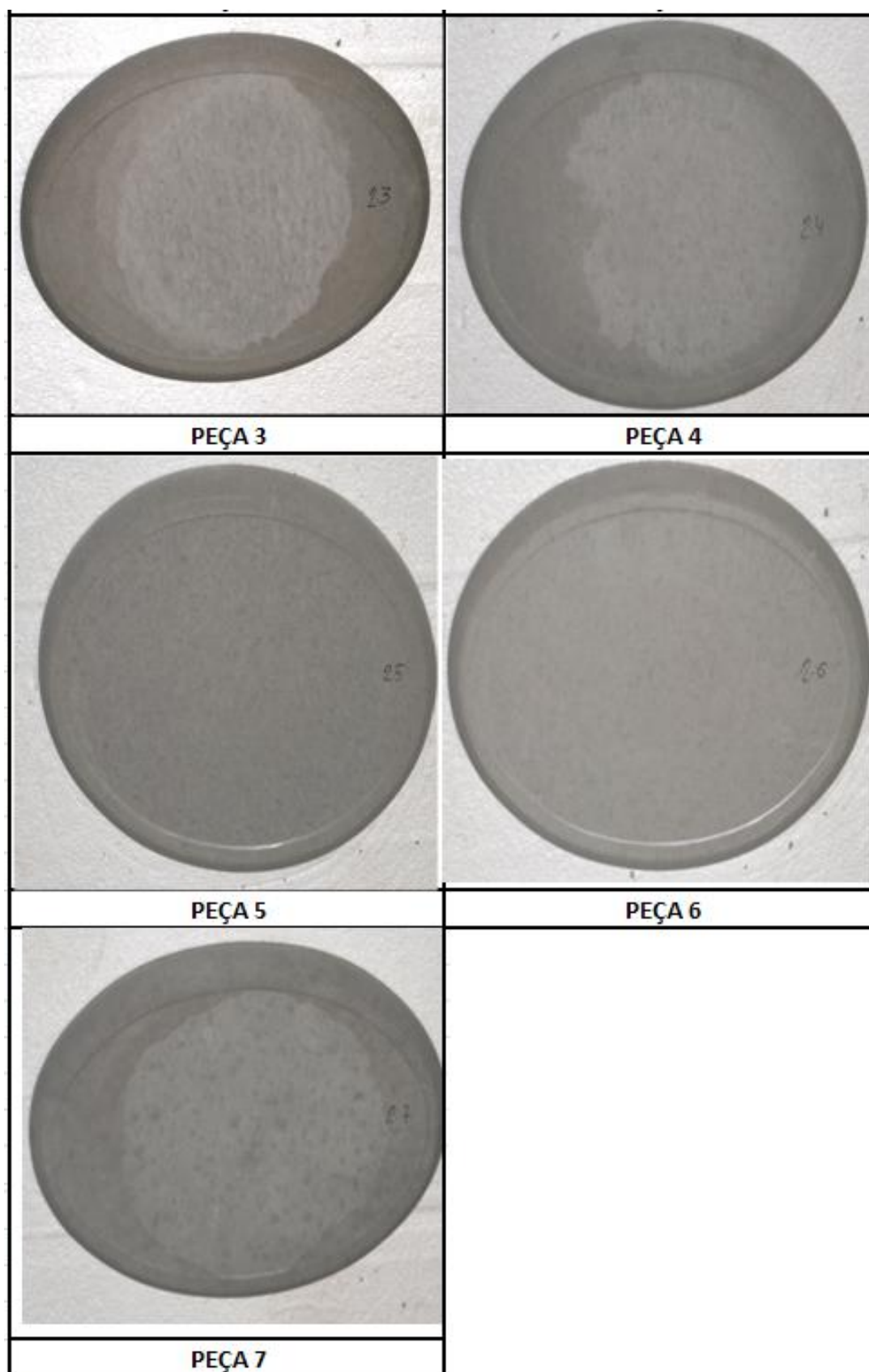


Figura 51. Imatges de les peces fabricades en l'assaig E2.

9. Implementació de la metodologia a seguir a fàbrica

Un cop realitzats els diferents assajos i havent valorat els resultats obtinguts, es va optar per implementar un canvi en la metodologia de producció existent en la fàbrica. La finalitat d'aquest apartat era poder constatar quines millores vinculades en cada part del procés s'havien de modificar per tal de començar a produir sense tenir problemes.

Entenent que l'empresa està formada per diferents operaris i que cadascun d'ells dur a terme un etapa del procés diferent, es va entendre doncs que el primer que calia era fer-los saber quin problema hi havia. Aquesta conscienciació es va creure oportú integrar-la als operaris mitjançant una presentació en Power Point on s'explicava la problemàtica.

Un cop es va tenir clar quina era la problemàtica es va procedir a citar les diferents consideracions que s'havien de tenir en compte per a cada etapa del procés. Amb aquesta idea es pretenia que els operaris coneguessin de pròpia mà quina era la manera correcta de produir i en quins aspectes havien de tenir més cura.

A continuació hi ha un resum amb les principals consideracions que s'han de tenir a l'hora de produir. Cal matissar que aquestes fan referència al cas particular de Julian Arumí S.L però que la majoria d'elles es poden extrapolar a qualsevol empresa del sector.

9.1. Consideracions prèvies a l'abocament del formigó al motllo.

- Es garantirà des del moment en que arriben les matèries primeres que aquestes són emmagatzemades en un lloc adequat atenent a les seves característiques.
- Mitjançant els control d'automatització s'intentarà cada cop que es fa una nova formigonada que les quantitats de cada matèria siguin exactes a les teòriques.
- S'anotarà diàriament les condicions d'humitat i temperatura exteriors per tal de detectar alguna anomalia puntual.
- Es portarà un control rigorós de les quantitats de formigó produïdes diàriament, al mateix temps, que una inspecció visual per part de l'operari de les matèries primeres abans de ser abocades. Qualsevol anomalia ha de quedar referenciada.

- Al final del dia es netejarà tots aquells elements que han estat en contacte directe amb el formigó per tal d'evitar incrustacions i anomalies.
- En el moment de transportar el formigó fresc es garantirà que la manera com la tolva de recepció rep el formigó sigui el menys brusca possible per tal de poder evitar formació de cavitats, segregacions del formigó entre altres.

En el cas de la fàbrica Julian Arumí S.L, fent referència al darrer punt es va soldar un element metàl·lic que garantir un pendent poc pronunciat i que antigament no es considerava. En l'imatge de continuació es pot veure el canvi.



Figura 52. Implementació del pendent necessari per tal d'evitar efectes secundaris.

- La quantitat de desencofrant dipositada al motllo quedarà ven quantificada i es garantirà que aquest estigui a una temperatura d'operació adequada un cop abocat.
- Es repartirà homogèniament el desencofrant per tot el motlle amb l'ajuda d'un paper higiènic.
- L'operari procurarà, en el cas de motllos grans, trepitjar en menor mesura el motllo per tal d'evitar taques en les peces finals.

9.2. Consideracions durant l' abocament del formigó al motllo i posteriors.

- Es garantirà una distància mínima d'abocament del formigó, per tal d'evitar problemes de cavitats internes i segregacions.
- Es controlarà de forma progressiva la temperatura del motllo per tal de que aquesta no presenti oscil·lacions.
- Les peces romandran dins del motllo un període total d'un dia. Aquelles peces realitzades el divendres i que per tant seran desemmotllades dilluns hauran de tenir consideracions especials. Com que no serà econòmic mantenir el motllo a temperatura durant tot el cap de setmana, el formigonat del divendres es farà més d'hora garantint d'aquesta manera que durant els primers moments del fraguat la temperatura és l'adequada.
- Un cop extretes les peces del motllo aquestes seran guardades de tal manera que en cap moment la cara vista estigui recolzada sobre algun element extern (fusta, porexpan) evitant d'aquesta manera possibles taques.

10. Conclusions

Després de realitzar els diferents assajos de les provetes de formigó les conclusions a les que s'ha arribat són les següents:

1. La temperatura del procés afecta a l'aspecte superficial de la peça.

Sabent prèviament, mitjançant fonts bibliogràfiques, que la temperatura era una variable present en diversos processos importants del formigó com és el fraguat d'aquest, es va optar per utilitzar els motllos específics per corroborar-ho. A continuació hi ha les imatges disposades gradualment en el ventall de temperatures de treball.

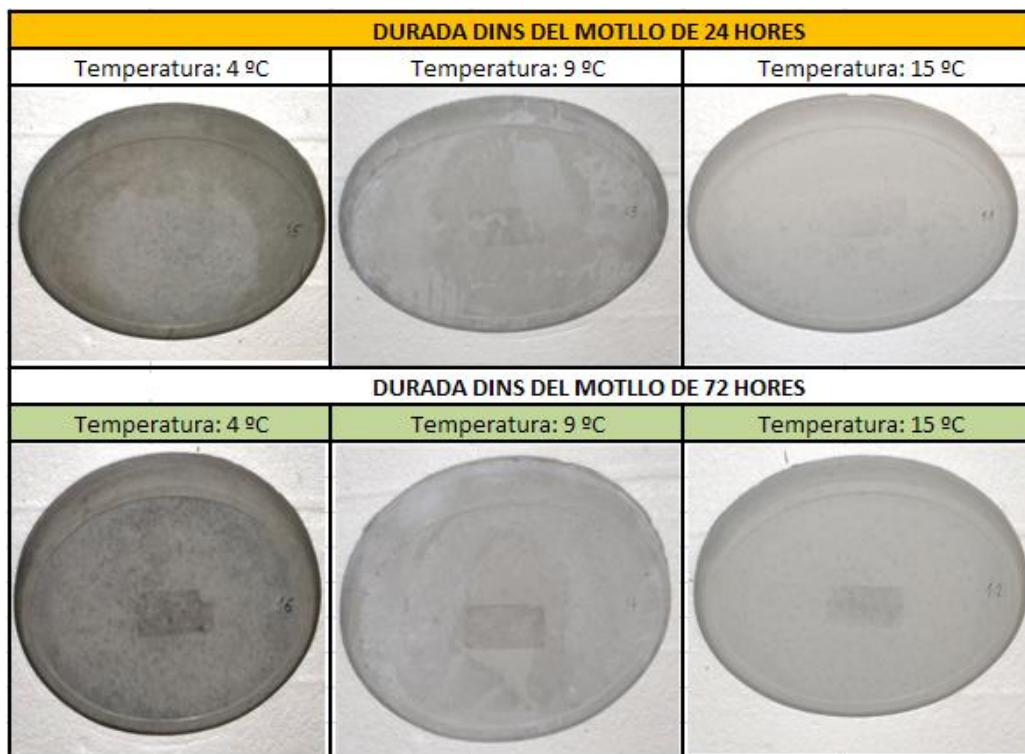


Figura 53. Imatges de les provetes de formigó disposades en funció de la temperatura aplicada i el temps de durada dins del motllo.

En les imatges es pot apreciar com realment a l'augmentar la temperatura el color fosc de la peça tendeix a disminuir la seva intensitat. Matissar però, que no és de forma gradual , sinó que, a partir d'una temperatura la peça té un contrast de color molt gran.

El fet que la temperatura afectés en el color de la peça i, per tant, fos una variable a tenir present a l'hora de poder produir correctament corroborava l'observació prèvia que es tenia

sobre el fet que les peces a l'hivern sortien més fosques que a l'estiu.

Per tal de poder determinar quina era exactament aquesta temperatura a la qual virava de forma més clara el color de la peça es va optar per representar una gràfica relacionant la temperatura i l'escala de grisos a la que corresponia la peça. La temperatura resultant va ser d'aproximadament 4 graus.

Temperatura procés (°C)	Escala de grisos
2	3
3	3
4	3
5	5
6	7
7	7
8	7
9	7
10	8
12	8

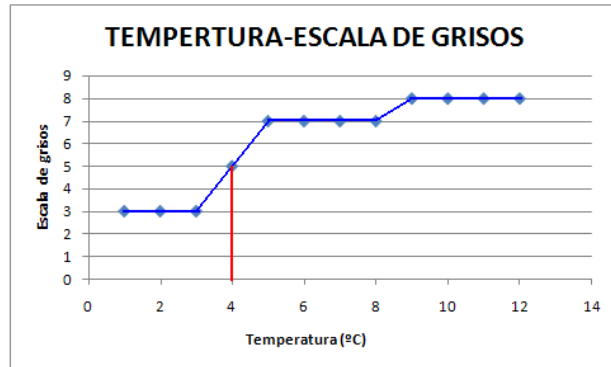


Figura 54. Gràfica temperatura-escala de grisos.

2. El temps de residència de les peces al motllo no te repercussió en l'acabat de la peça

A diferència de com es pensava inicialment el fet que una peça estigui més temps del compte dins del motllo no presenta una alteració del color de la peça significativa. Novament mitjançant els assajos realitzats amb els motllos específics les diferències entre aquelles peces sotmeses a la mateixa temperatura però extretes a diferents dies del motllo són ínfimes. Vegeu a continuació les diferències.

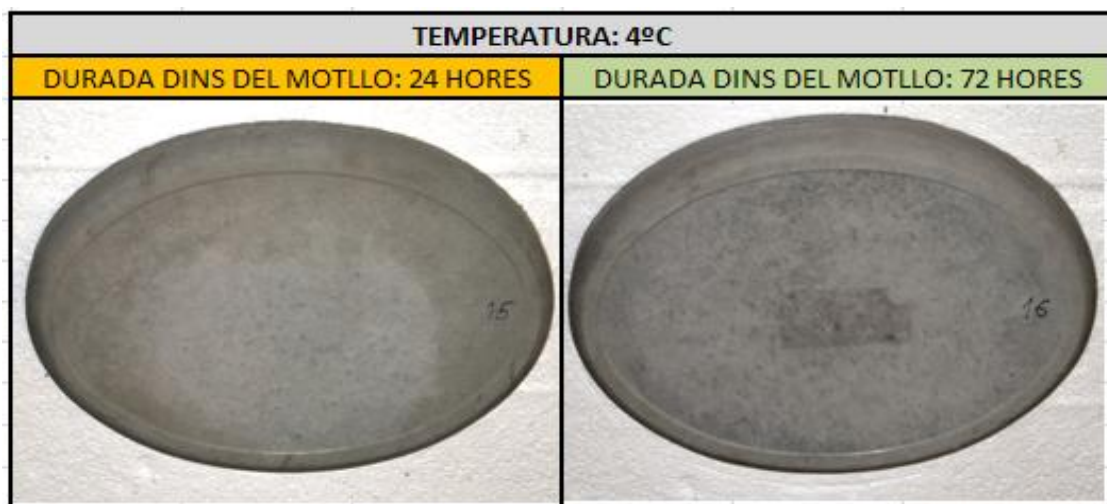


Figura 55. Imatges de les peces a 4 graus i a 1-3 dies respectivament (Peça 1).

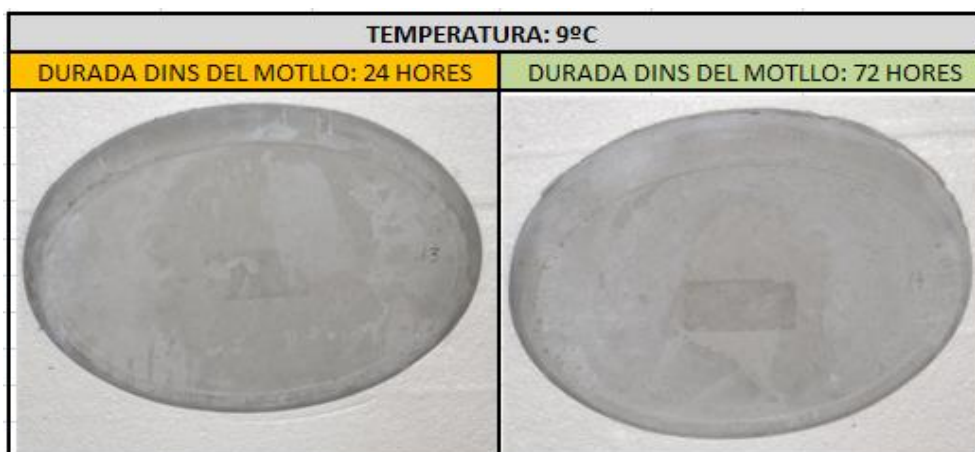


Figura 56. Imatges de les peces a 9 graus i a 1-3 dies respectivament (Peça 2).

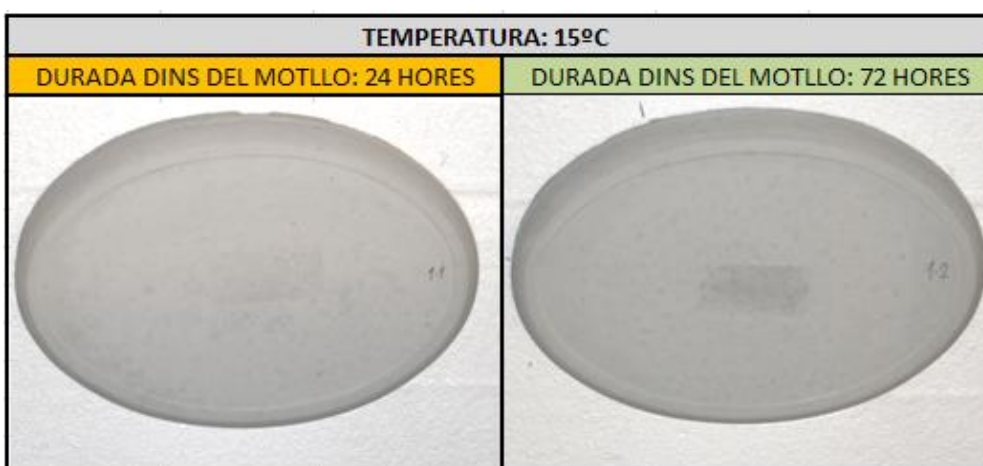


Figura 57. Imatges de les peces a 15 graus i a 1-3 dies respectivament (Peça 3).

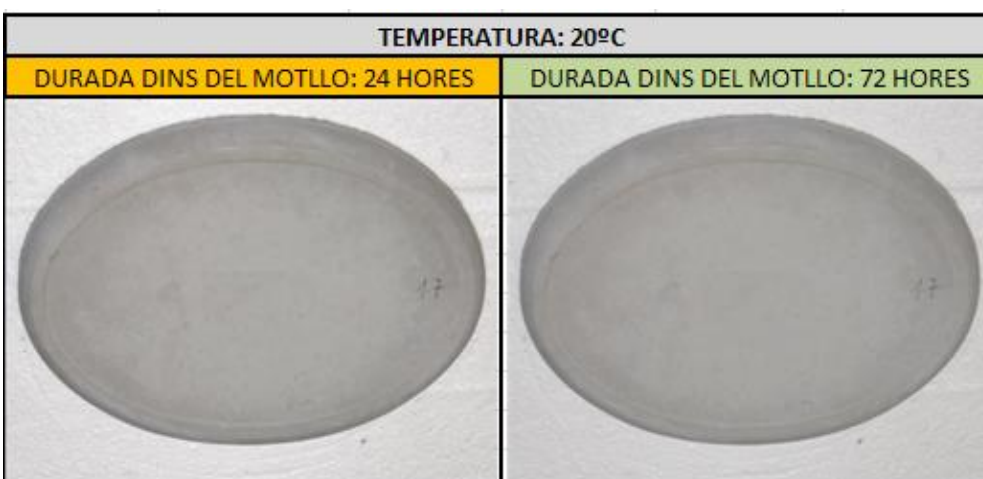


Figura 58. Imatges de les peces a 20 graus i a 1-3 dies respectivament (Peça 4).

En la Taula 8 es pot veure la quantificació dels colors de les imatges anteriors referenciats en l'escala de grisos tant a 1 dia com a 3 dies des del moment en que aboquem el formigó al motllo.

Peça	Temperatura	Temps al motllo		diferència gradual
		1 dia	3 dies	
1	4 °C	3	3/4	0/1
2	9 °C	7	7	0
3	15 °C	7	8	1
4	20 °C	8	8	0

Taula 8. Quantificació dels colors de les peces a 1 dia i a 3 dies del formigonat.

Per acabar de corroborar-ho també es pot fer la mateixa comparació amb les peces realitzades amb els motllos genèrics. Això simplement consisteix en comparar les peces fetes en l'assaig G4. Recordar que en l'assaig es fixava la quantitat de desencofrant i el tipus i l'única variable era el temps de residència dins del motllo.

Així doncs, a continuació es poden veure els dos possibles casos atenent a les quantitats de desencofrats disponibles.

Cas 1:

TIPUS MOTLLO	DIMENSIONS (cm)	TIPUS DESENC.	QUANTITAT DESENCOFRANT
Genèric	60 x60 x10	Vegetal	Poca (2 ml)



Figura 59. Peces amb temps dins del motllo de 1,4 i 7 dies.

Cas 2:

TIPUS MOTLLO	DIMENSIONS (cm)	TIPUS DESENC.	QUANTITAT DESENCOFRANT
Genèric	60 x60 x10	Vegetal	Molta (10 ml)



Figura 60. Peces amb temps de residència de 1,4 i 7 dies respectivament.

Per tant després de poder veure els contrastos de colors provocats pel fet d'estar diferents temps de residència dins del motllo es pot verificar que les diferències de color generades per aquest factor són mínimes. Vegeu en la taula que segueix aquestes diferències.

Cas	Temps de residència motllo			Diferencia gradual		
	1 dia	4 dies	7 dies	1-4 dies	4-7 dies	global
1	6	6	6	0	0	0
2	7	7	7	0	0	0

Taula 9. Quantificació dels colors de les peces a 1 ,4 i 7 dies del formigonat.

3. La quantitat de desencofrant utilitzada afecta a l'aspecte visual de la peça.

Fixant novament totes les variables i modificant únicament la variable de la quantitat de desencofrant es va poder observar que aquesta era determinat per al color final de la peça.

Ara bé, si que cal especificar que les diferències importants, pel que fa a color, no són tant en la quantitat de desencofrant que s'hi tira, sinó en el fet de tirar-n'hi o no. Es poden distingir tres casos:

Cas 1: amb temps de residència al motllo 1 dia.

TIPUS MOTLLO	DIMENSIONS (cm)	TIPUS DESENC.
Genèric	60 x60 x10	Vegetal

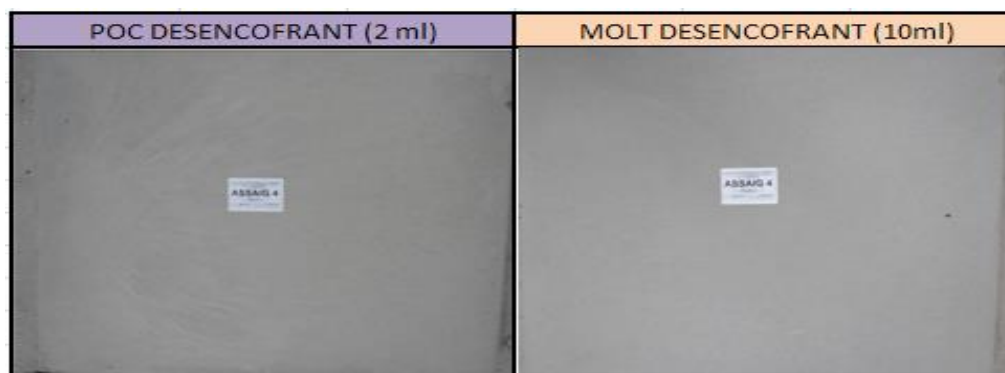


Figura 61. A l'esquerra amb poca quantitat de desencofrant i a la dreta amb excés d'aquest.

Cas 2: amb temps de residència al motllo 4 dia.

TIPUS MOTLLO	DIMENSIONS (cm)	TIPUS DESENC.
Genèric	60 x60 x10	Vegetal



Figura 62. A l'esquerra amb poca quantitat de desencofrant i a la dreta amb excés d'aquest.

Cas 3: amb temps de residència al motllo 7 dia.

TIPUS MOTLLO	DIMENSIONS (cm)	TIPUS DESENC.
Genèric	60 x60 x10	Vegetal



Figura 63. A l'esquerra amb poca quantitat de desencofrant i a la dreta amb excés d'aquest.

Tal com es pot veure en els tres casos anteriors les diferències existents entre peces són clares però encara s'accentuen més quan no hi posem desencofrant (cas 4). Vegeu la comparativa següent en la figura 64.

Cas 4: amb temps de residència al motllo 1 dia.

TIPUS MOTLLO	DIMENSIONS (cm)	TIPUS DESENC.
Genèric	60 x60 x10	Vegetal



Figura 64. Fotografies amb quantitats de desencofrant de esquerra a dreta: sense, poca i molta quantitat de desencofrant.

Cas	Temps residència motllo	Poc desenc. (2ml)	Molt desenc. (10ml)	Diferència gradual
1	1 dia	5	7	2
2	4 dies	5	7	2
3	7 dies	4	7	3

Cas	Quantitat de desencofrant			Diferencia gradual		
	Sense	Poca	Molta	Sense-Poca	Poca-Molta	global
4	3	6	7	3	1	4

Taula 10. Quantificació dels colors de les peces per als casos 1-4.

4. El tipus de desencofrant no afecta al color final de la peça

En un primer moment es va plantejar la possibilitat que el tipus de desencofrant pogués afectar al color de la peça ja que cadascun d'ells presentava unes composicions diferents i es temia alguna reacció amb el motllo.

Ara bé, després de realitzar les proves es va poder observar que això no succeïa. Podem dividir dos casos en funció de la quantitat utilitzada i en variarem la seva tipologia. El temps de residència de les peces va ser 1 dia.

Cas 1: desencofrant en poca quantitat.



Figura 65. Diferents tipologies de desencofrants de esquerra a dreta: parafínic, vegetal i mineral.

Cas 2: desencofrant en molta quantitat.

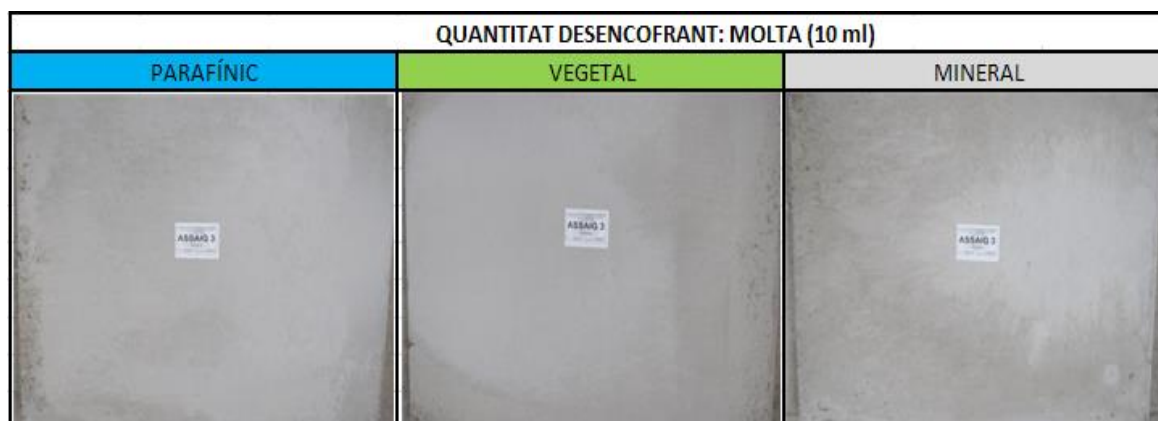


Figura 66. Diferents tipologies de desencofrants de esquerra a dreta: parafínic, vegetal i mineral.

Tal com es pot veure en els dos casos anteriors les diferències són poc significatives en quant a contrast de color. A continuació es poden veure les diferències graduals.

Cas	Tipus de desencofrant		
	Parafínic	Vegetal	Mineral
1	7	7	7
2	6	6	6

Taula 11. Quantificació dels colors de les peces en funció del tipus de desencofrant.

Per tant després d'haver analitzat els diferents resultats i les conclusions que en deparaven a mode de resum, seguidament, hi ha les quatre conclusions principals que se n'han derivat del projecte i que han contribuït a eradicar la problemàtica i a començar a produir sense aquesta mitjançant una metodologia de treball adequada.

- La temperatura del procés afecta a l'aspecte superficial de la peça.
- El temps de residència de les peces al motllo no té repercussió en l'acabat de la peça
- La quantitat de desencofrant utilitzada afecta a l'aspecte visual de la peça.
- El tipus de desencofrant no afecta al color final de la peça

11. Impacte mediambiental

11.1. Impacte mediambiental general del formigó

Després d'haver realitzat aquest projecte considerem aquest darrer apartat d'impacte mediambiental com aquell que dona sentit a que es continuï utilitzant el formigó com a element constructiu. El fet és que l'impacte negatiu que aquest genera és mínim tant en aspectes mediambientals com socials.

A continuació hi ha un llistat de punts on s'explica els avantatges que suposa treballar amb formigó respecte els altres elements constructius.

- El formigó genera moltes poques pèrdues dels materials que el formen degut a que les dosificacions de les mescles són molt precises i estant totalment controlades a planta.
- Existeix una major possibilitat de reciclar els excedents de material i sobretot les aigües grises. Una fracció dels agregats pot estar constituïda per un formigó reciclat amb un tractament adequat.
- Una de les més importants de totes, els components principals del formigó són obtinguts principalment a nivell local, el que permet una reducció dels requeriments de transport i ,conseqüentment, l'energia i les emissions associades.
- Al voltant d'un 80 % del formigó està constituït per els agregats (pedra i sorra), els quals requereixen nivells relativament baixos d'energia per a la seva producció. El procés de producció del ciment, sí que és veritat que és més intensiu en l'ús d'energia, però la introducció de cendres volants i fums de sílice han ajudat a atenuar aquest efecte.
- Els encofrats metàl·lics a planta permeten múltiples reutilitzacions, disminuint o eliminant l'ús d'encofrats de fusta.
- En el lloc on es desenvolupa l'obra es redueix la pols, les deixalles i altres elements.
- Molt important, s'aconsegueixen reduir els terminis de lliurament dels muntatges i , conseqüentment, l'impacte derivat d'aquest procés productiu.
- Es redueix la contaminació sònica en el lloc d'obra. Això es converteix en encara més important en projectes d'ampliació d'edificis en operació.

- L'ús del preesforç permet optimitzar les dimensions dels elements prefabricats, reduint d'aquesta manera el consum de materials.
- L'utilització cada vegada més extensiva del formigó amb unes altres propietats i capacitats permet, entre altres avantatges, obtenir formigons menys permeables, amb major durabilitat i amb menors requeriments de manteniment.
- L'albedo , que és el percentatge de radiació que qualsevol superfície reflexa respecte a la radiació que rep, es relativament alta en el cas del formigó, el que proporciona molt bones propietats d'aïllament tèrmic i permet reduir els requeriments d'il·luminació artificial.
- I per últim, i considerant un aspecte més social, dir doncs que el fet de poder produir a planta amb el formigó contribueix a que l'operari pugui treballar en unes condicions més favorables i òptimes que molts altres elements constructius no ho permeten.

11.2. Impacte mediambiental del projecte

Pel que fa a l'impacte mediambiental específic que se n'ha derivat del projecte destacar que aquest ha estat poc. S'ha de tenir present que els elements que formen el formigó són principalment inerts i d'origen natural (excepte els additius i desencofrants que ara els mencionarem). Això fa doncs que ja des del primer moment en que rebem aquestes matèries primeres i fins a la seva disposició final les consideracions mediambientals que s'hagin de tenir presents sigui pràcticament nul·les.

Ara bé, tal i com s'ha dit anteriorment, amb l'importància de la química en el món del formigó fa que utilitzem tant additius com desencofrants durant el procés de producció del formigó. L'avantatge que aquest dos presenten i que fa que el seu impacte mediambiental sigui reduït és per el següent:

Desencofrants: aquests presenten l'avantatge que un cop transcorregut un cert temps després del fraguat, amb les temperatures que s'assoleixen, aquest s'evapora i queda suspès en l'aire. Això provoca que aquest producte no es pugui recuperar de cap manera sinó que desapareix. Evidentment, l'efecte que aquest genera quedant suspès en l'aire no té cap mena de repercussió mediambiental.

Additius: a diferència dels altres aquests són afegits en un primer moment del procés abans del procés de fraguat del formigó. Aquests doncs queden retinguts en l'interior de la peça de formigó, ja que acaba solidificant juntament amb tots els demés

components.

També cal tenir present que l'únic element que té certa activitat en l'interior del formigó és l'aigua. Ara bé, aquesta simplement es pot evaporar i no deixa de ser aigua així que no té cap mena de repercussió. I pel que fa aquelles peces de formigó que presenten alguna mena de defecte simplement són portades a la deixalleria.

I per últim destacar doncs que sí que hi ha algunes etapes del procés que tenen impacte mediambiental, tot i que, no tingui relació directe amb les matèries primeres. Evidentment durant el procés de barreja s'utilitza la formigonera la qual té un consum elevat d'energia. Si que és veritat que cada cop s'intenta doncs que el procés sigui el més precís i ràpid possible per tal de poder estalviar energia, però sempre se'n gasta. A més a més, recordem doncs que cada cop el món de la construcció s'ha anat automatitzant més i fa que utilitzi aparells elèctrics que en regulen el seu comportament i tot això genera despesa energètica.

Per tant, s'ha pogut veure que l'impacte mediambiental de les matèries primeres és pràcticament nul i que el tractament dels residus que se n'ha de fer és pràcticament mínim. No obstant això, com a qualsevol sector la despesa energètica és important i per tant això contribueix a l'impacte mediambiental.

13. Agraïments

No m'agradaria donar per finalitzat aquest projecte sense agrair a totes aquelles persones que han afegit el seu granet de sorra per tal de poder complementar els meus coneixements i donar un caire coherent a tot el treball. Destacar en primer lloc l'empresa Julian Arumí S.L, a partir de la qual he pogut aprofundir molt en el coneixement general del formigó degut a la seva experiència de més de 65 anys en el sector. Destacar sobretot el gran tractament humà que he rebut per part d'ells. També m'agradaria agrair al meu tutor del projecte, l'Ignasi Casas, per el suport donat, al mateix temps que coneixements, en tot moment del projecte. I per últim agrair l'empresa FUCHS i especialment al senyor Enric Angelet per el suport donat sobretot en el camp experimental pel que fa als aspectes vinculats amb desencofrants.

Amb l'ajuda de tots ells les coses han estat menys feixugues de realitzar.

Moltes gràcies.

14. Bibliografia

Referències bibliogràfiques

JIMÉNEZ MONTOYA, P. et al. (2010). *Hormigón armado*. Madrid.

RUBIO ARANDA, A. (2007). *Los aditivos del mundo del hormigón*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

UNIVERSIDAD DE OVIEDO (2006). *La química del hormigón: la reacción de hidratación del cemento y sus componentes*. Oviedo

AENOR (2008). Características y especificaciones del hormigón. UNE-206. Madrid: AENOR.

PUERTAS MAROTO, F. (2009). *Aditivos para el hormigón: compatibilidad cemento-aditivos basados en policarboxilatos*. Valencia.

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA. *Introducción a los cementos*. Córdoba.

LEA y DESCH (1995). *Química del cemento y del hormigón*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Canales y Puertos. Barcelona.

